

明 細 書 10/20 Rec'd PCT/PTO 08 AUG 2006

積層型太陽電池

5 技術分野

本発明は、太陽光のスペクトルのうちの広範囲の波長成分を有効利用する為に、感度波長帯域の異なる2種類以上の太陽電池モジュールを積層した積層型太陽電池であって、少なくとも1種類の太陽電池モジュールとして複数の球状のソーラセルを組み込んだセル群モジュールを組み込んだ積層型太陽電池に関する。

10

背景技術

太陽光のスペクトルは、地上では600 nm付近をピークに紫外から遠赤外迄広い波長域を持っている。このような太陽光を受光し、効率よく電気エネルギーに変換するためには、単一のエネルギーバンドギャップに依存する太陽電池では、利用できるスペクトル範囲が限られ、光電変換の高効率化に限界がある。そのため、太陽光のスペクトルを複数の感度波長帯域に分割し、それぞれの感度波長帯域別に効率よく光電変換できる複数種類の太陽電池モジュール（又は、要素太陽電池、又は太陽電池層）を作り、それらを太陽光の入射側から感度波長帯域の中心波長が短い（バンドギャップが大きい）順に積層し、広範囲の太陽光スペクトルを吸収して光電変換する構造の太陽電池が提案されている。

20

これまで提案されてきた従来の太陽電池は、次のとおりである。

（a）光学的フィルターミラーを通して複数の波長帯域に分割し、それぞれの感度波長帯域に適した複数種類の独立の太陽電池モジュールを各光路上に配置した太陽電池。これは、N.S.Alvi, C.E.Bakus and G.W.Madsen, "Potential For Increasing the Efficiency of Photovoltaic Systems by Using Multiples Cell Concept", Conf. Proc. 12th IEEE Photovoltaic Specialist Conference 957(1976)に記載されている。

25

（b）共通の基板上にエネルギーバンドギャップが異なる複数の半導体層を逐次

結晶成長して2層の太陽電池層を一体的に積層した太陽電池。

(c) 感度波長帯域(バンドギャップ)が異なる半導体を用いて複数種類の太陽電池パネルを個別に作り、太陽光の光路上にこれら太陽電池パネルを配置した太陽電池。

- 5 上記の(b)と(c)は、A.W.Bett, F.Dimroth, G.Stollwerck, O.V.Sulima
" III - V Compounds For Solar Cell Applications" Appl.Phys.A69,119-129
(1999)に記載されている。

上記の(a)～(c)のいずれも、積層型太陽電池を構成する要素太陽電池は、
平面状の半導体ウエハまたは半導体層にp n接合が作られている。前記(a)の
10 太陽電池は、フィルターミラーの光学的ロスによる性能低下とコストが高価になり、
複数の要素太陽電池同士の間隔が大きく、それらの位置決めと固定などに
労力を要する。

前記(b)の太陽電池は、一つの基板上に結晶成長出来る半導体の種類が結晶
構造や格子常数の違いにより制約を受け、バンドギャップの異なる望ましい形の
15 p n接合形成が困難である。その上、積層した太陽電池層間に電流が流れるよう
にトンネル接合が必要であるが、そのトンネル接合の部分の抵抗が高い。また、
積層した複数の太陽電池層の光電流の大きさが不揃いになるため、太陽電池全体の
出力電流が最も低い方の太陽電池層で制限されるという問題がある。

前記(c)の太陽電池は、(b)の太陽電池のような結晶成長上の制約がなく
20 なるが、太陽光入射側の要素太陽電池には、この要素太陽電池で吸収しない波長
帯域の光を通す窓が必要である。要素太陽電池の積層数や受光面積を増やすと、
櫛状の電極部分の面積増加、要素太陽電池同士の位置ずれにより有効な受光面積
が減少しやすくなるという欠点がある。また、(b)の太陽電池の場合と同様、
単一のp n接合からなる要素太陽電池を積層するため、各要素太陽電池の出力電
25 流の大きさが揃わず太陽電池全体の出力が出力電流の少ない要素太陽電池によっ
て限定されるという問題が残っている。

本発明の目的は、上記のような問題を解消して太陽光を光電変換する効率を著
しく改善可能な積層型太陽電池を提供することである。

発明の開示

本発明の積層型太陽電池は、複数種類の太陽電池モジュールを組み込んで一体的に積層した積層型太陽電池において、異なる感度波長帯域を有する複数種類の太陽電池モジュールであって、感度波長帯域における中心波長が短いモジュールほど太陽光の入射側に位置するように積層された複数種類の太陽電池モジュールを有し、少なくとも1種類の太陽電池モジュールは、複数行複数列に整列された複数のほぼ球状のソーラセルをセル群モジュールで構成されたことを特徴とする。異なる感度波長帯域を有する複数種類の太陽電池モジュールを有するため、太陽光スペクトルのうちの広い波長範囲の太陽光を利用して発電できる。波長の短い光ほど透過性が弱いため、上記のように感度波長帯域における中心波長が短い太陽電池モジュールほど太陽光の入射側に位置するように積層することで、各太陽電池モジュールの光電変換効率を高めることができる。

複数のほぼ球状のソーラセルを組み込んだセル群モジュールでは、複数のソーラセルを直並列接続する回路における直列接続数と並列接続数を変えることで、出力電流を容易に変えることができる。そのため、少なくとも1つのセル群モジュールの出力電流を変えることにより、複数種類の太陽電池モジュールの出力電流を揃え易くなり、太陽電池の光電変換効率を高める上で有利である。

セル群モジュールにおけるソーラセルは、ほぼ球面状のp n接合を有するため、複数のソーラセルの配置を密にすることにより、セル群モジュールにおけるp n接合の合計面積を大きくして、光電変換効率を高めることが可能である。また、セル群モジュールの各ソーラセルは、ほぼ球面状のp n接合を有するため、各ソーラセルに入射する入射光がp n接合に2回遭遇する機会があるから、光電変換効率を高める上で有利である。また、各ソーラセルが光閉じ込め作用を奏するように構成できるので、光電変換効率を高める上で有利である。また、球面で反射した光は光路を変えて他のソーラセルに入射することが可能となり、全体として光の吸収性が向上する。

各セル群モジュールのソーラセルは、他の太陽電池モジュールのp n接合を構

成する半導体の格子定数等の影響を受けずに独立に製作することができる。

ここで、前記の構成に加えて、次のような構成を適宜採用してもよい。

1) 少なくとも1種類の太陽電池モジュールは平面状の共通のp n接合を有する平面受光モジュールで構成される。

5 2) 4種類の太陽電池モジュールを有し、3種類の太陽電池モジュールは、夫々、複数行複数列に整列された複数のほぼ球状のソーラセルを有するセル群モジュールで構成され、1種類の太陽電池モジュールは、平面状の共通のp n接合を有する平面受光モジュールで構成される。

10 3) 前記セル群モジュールにおける複数行複数列に整列されたソーラセルは、行方向又は列方向に延びて外部へ導出されたリード線を介して電氣的に接続される。

4) 前記各セル群モジュールは、前記複数のリード線を介して複数のソーラセルを直並列接続する直並列接続回路を備えている。

15 5) 複数種類の太陽電池モジュールを直列接続する直列接続回路を有し、各セル群モジュールの出力電流が前記平面受光モジュールの出力電流とほぼ等しくなるように、各セル群モジュールの直並列接続回路が構成された。

6) 前記各セル群モジュールは、平面上に複数行複数列に整列された複数の球状のソーラセルの層を2つ有し、これら2層のソーラセルは太陽光の入射方向から見た平面視において重複せずに接近するように配置された。

20 7) 前記平面受光モジュールは、複数のセル群モジュールの下側に位置するように最下層に配置され、この平面受光モジュールの下部又は下面側に太陽光を反射可能な反射部材が設けられる。

8) 太陽光の入射方向における最も入射側にある太陽電池モジュール以外の何れかの太陽電池モジュールにおいて、その太陽電池モジュールの表面に、それよりも上方の太陽電池モジュールで吸収されやすい感度波長帯域の光を反射するミラー膜を形成する。

25 9) 前記セル群モジュールにおいては、複数のソーラセルが透明なガラス又は合成樹脂材料の内部に埋め込み状に収容される。

10) 太陽光の入射方向において最も入射側にある太陽電池モジュールの上面に透明なガラス又は合成樹脂からなる透明部材が固着される。

11) 前記平面受光モジュールは、複数のセル群モジュールより下方の最下層に配置され、3種類のセル群モジュールは、太陽光の入射側から順に積層される

5 第1～第3のセル群モジュールを有し、

第1のセル群モジュールはほぼ球状のGaP単結晶の表層部にほぼ球面状のpn接合を形成した複数のソーラセルを有し、第2のセル群モジュールはほぼ球状のGaAs単結晶の表層部にほぼ球面状のpn接合を形成した複数のソーラセルを有し、第3のセル群モジュールはほぼ球状のSi単結晶の表層部にほぼ球面状のpn接合を形成した複数のソーラセルを有する。

12) 11)の欄の前記平面受光モジュールは、n形InP半導体基板上に形成したInGaAs半導体層内に形成した平面状の共通のpn接合を有する。

13) 前記平面受光モジュールは、複数のセル群モジュールより上方の最上層に配置され、3種類のセル群モジュールは、太陽光の入射側から順に積層される

15 第1～第3のセル群モジュールを有し、

第1のセル群モジュールはほぼ球状のGaAs単結晶の表層部にほぼ球面状のpn接合を形成した複数の太陽電池光セルを有し、第2のセル群モジュールはほぼ球状のSi単結晶の表層部にほぼ球面状のpn接合を形成した複数のソーラセルを有し、第3のセル群モジュールはほぼ球状のGe単結晶の表層部にほぼ球面状のpn接合を形成した複数のソーラセルを有する。

14) 13)の欄の前記平面受光モジュールは、n形GaP半導体基板上に形成したGaAsP半導体層内に形成した平面状の共通のpn接合を有する。

15) 2種類の平面受光モジュールを有し、これら2種類の平面受光モジュールの間に、1又は複数のセル群モジュールが組み込まれる。

25 16) 複数種類の太陽電池モジュールが円筒状に形成され、これら太陽電池モジュールが同心円状に積層された。

図面の簡単な説明

図1 (a) ~ (g) は球状のSiソーラセルを製造する複数工程におけるSi単結晶等の断面図である。図2は球状のGeソーラセルの断面図である。図3はGaPソーラセルを製造する複数工程におけるGaP単結晶等の断面図である。図4はGaAlAs/GaAsソーラセル製造する複数工程におけるGaAs単結晶等の断面図である。

図5はSiセル群モジュールの平面図である。図6は図5のVI-VI線断面図である。図7は図5のVII-VII線断面図である。図8はInGaAs/InP平面受光モジュールの平面図である。図9は図8のIX-IX線断面図である。

図10はGaAsP/GaP平面受光モジュールの平面図である。図11は図10のXI-XI線断面図である。図12は第1例の積層型太陽電池の平面図である。図13は図12の積層型太陽電池の断面図である。図14は太陽光の相対エネルギー密度と第1例の太陽電池に組み込んだソーラセル等の相対分光感度の線図である。図15は第1例の太陽電池における入射と反射と吸収等を説明する説明図である。図16は第1例の太陽電池における直並列接続回路と直列接続回路の概略回路図である。

図17は第2例の太陽電池の断面図である。図18は第2例の太陽電池の断面図である。図19図は太陽光の相対エネルギー密度と第2例の太陽電池に組み込んだソーラセル等の相対分光感度の線図である。

図20は別実施例に係る積層型太陽電池の斜視図である。図21は図20の太陽電池の断面図である。

発明を実施するための最良の形態

最初に、本発明の積層型太陽電池を構成する要素セルとして機能する4種類のほぼ球状のソーラセルについて説明し、次に球状のソーラセルを組み込んだセル群モジュールについて説明し、次に平面受光モジュールについて説明し、その後、複数のセル群モジュールと1つの平面受光モジュールを組み込んで構成した太陽電池について説明する。その後更に、複数の円筒状のセル群モジュールを同心状に積層した円筒形の太陽電池について説明する。

球状のソーラセルは、本願の発明者が既に日本特許第3262174号において提案したものと同様のものである。このソーラセル（球面受光型セル）を製作する場合、球状の半導体結晶を製作し、その半導体結晶の表層部にほぼ球面状のp n接合を形成し、半導体結晶の中心を挟んで対向する表面位置に正負の電極を設け、
5 それら正負の電極をp n接合の両極に接続する。

このソーラセルは、太陽光の入射方向にする指向性が殆どないため太陽直射光の入射角度が変化しても優れた受光能力を示し、周囲の反射光に対しても優れた受光能力を示す。入射光がソーラセル内に閉じ込められやすく、球面状のp n接合によって有効に光電変換されるという特長を有する。

- 10 この球状のソーラセルを製造する場合に、半導体材料のロスを少なくする為に、ソーラセルの大きさに近い球状の半導体結晶を用いることが望ましい。その球状の半導体結晶の製造法としては、例えば、本発明者が、既に日本特許第3231244号において提案した方法を適用することができる。即ち、熔融状態の半導体の液滴を落下管の上部から自由落下させ、落下途中で球状化した液滴を過冷却し、外
15 部から刺激を与えて凝固させ球状又は粒状の単結晶を作る。

- 蒸気圧が高い元素を含む化合物半導体を採用する場合は、例えば本願の発明者が日本特許第3287579号において提案した方法を適用できる。この方法において、化合物半導体の原料とそれを構成する元素の中で蒸気圧が高い元素を雰囲気ガスと共に密閉したアンプル中に納め、これを落下管の上部から落下させ熔融状態の
20 半導体原料を自由落下中に前記と同様に凝固させることにより、球状又は粒状の単結晶を作る。但し、これらの方法によらずに、大きな単結晶からソーラセルの体積に近い立方体を切り出し、その立方体を機械的・化学的手段によって真球状に加工することにより球状の単結晶を作ることにもできる。これらの球状の単結晶を用いて球状又はほぼ球状のソーラセルを作り、多数のソーラセルを用いて、太陽
25 光に対する特有の感度波長帯域を有する太陽電池モジュール（セル群モジュール）を製作する。本願のスペクトル分割型太陽電池（積層型太陽電池）は、異なる感度波長帯域を有する2種類以上の太陽電池モジュールを組み合わせて複合化したものであり、必要に応じて平面形p n接合受光モジュール（平面受光モジュール）

ル) も組み合わせで複合化することもある。

最初に、本発明の積層型太陽電池に組み込まれる複数種類のソーラセル（要素ソーラセル）の構造と製法について説明する。ここに述べるソーラセルは上記の公知技術又はその他の公知技術により製造できるものであるから簡単に説明する。

図1 (a) ~ (g) は、太陽光スペクトルのうちの中間波長域（約500~1100 nm）の感度波長帯域を持つ太陽電池モジュールに組み込むSiソーラセルであって、ほぼ球状のシリコン（Si）単結晶11を主体として製作されるほぼ球状のSiソーラセル10を製造する場合の製造工程を示す。Siはエネルギーバンドギャップが1.12 eVの間接遷移形の半導体である。

10 図1(a)に示す粒状のp形シリコン単結晶11を製作する場合、不活性ガスを流した落下管の上部から一定量のSiの液滴を自由落下させ、落下中に表面張力によって球状化し、落下途中で過冷却状態から、液滴の一点に接触などの物理的な刺激を加えて急速凝固させて、直径約1.2mmのp形シリコン単結晶11を得る。

15 p形シリコン単結晶11の突起部分は、凝固の最終段階に形成されるものである。この突起部分を図1(b)に示すように平面的にカットして基準面12とする。基準面12は直径約0.3mm程度の平坦面である。基準面12は、以降の工程における不純物拡散、電極形成、出力特性測定、配線などの工程で位置決めに利用される。次に図1(c)に示すように、全表面にシリコン酸化膜13が
20 形成される。次に図1(d)に示すように、基準面12とその外周近傍にシリコン酸化膜13を拡散マスクとして残し、それ以外のシリコン酸化膜13を除去する。次に図1(e)に示すように、図1(d)のシリコン単結晶11を加熱してn形不純物としてリン(P)又は砒素(As)を拡散することによりn形拡散層14を形成し、p形Si単結晶11とn形拡散層14との間にほぼ球面状のpn
25 接合15を形成する。このn形不純物の拡散の際に薄いSi酸化膜16も形成される。基準面12とその近傍にはp形Si単結晶11の表面が拡散層14で覆われずに残っている。次に図1(f)に示すように、エッチングしてSi酸化膜13、16を一旦除去し、再度、全面に薄いSi酸化膜からなる反射防止膜17を

形成する。次に図 1 (g) に示すように、基準面 12 を目印にして基準面 12 から p 形 Si 単結晶 11 に臨む表面の中心部と、n 形拡散層 14 の表面の中心部とに銀を含むペーストをドット状に塗布して焼成すると、銀が薄い Si 酸化膜 17 (反射防止膜) を貫通して p 形 Si 単結晶 11、n 形拡散層 14 の表面に夫々オーミック接触した正電極 18 と負電極 19 が得られる。これらの電極 18, 19 は Si 単結晶 11 の中心を挟んで対向する位置にあるため、光入力および光起電力の分布の対称性が維持され、電流分布の偏りが少なく、pn 接合 15 が効率よく機能する。

図 2 は、太陽光スペクトルのうちの長波長域 (約 800 ~ 1600 nm) の感度波長帯域を持つ太陽電池モジュールに組み込む Ge ソーラセルであって、ほぼ球状のゲルマニウム (Ge) 単結晶を主体として製作された Ge ソーラセル 20 の断面図である。ゲルマニウムは、エネルギーバンドギャップが 0.66 eV の間接遷移形の半導体であり、この Ge ソーラセル 20 は前記の Si ソーラセル 10 と同様の工程をへて製造することができる。

図 2 には、直径約 1.2 mm の p 形ゲルマニウム単結晶 21、基準面 22、n 形不純物 (リンまたは砒素) を熱拡散して形成した n 形拡散層 24、pn 接合 25、反射防止膜 26、インジウムを少量含む錫により形成され且つ p 形 Ge 単結晶 21 にオーミック接触する正電極 27、アンチモンを少量含む錫により形成され n 形拡散層 24 にオーミック接触する負電極 28 が図示されている。

図 3 (a) ~ (g) は、太陽光スペクトルのうちの短波長域 (約 300 ~ 600 nm) の感度波長帯域を持つ太陽電池モジュールに組み込む GaP ソーラセルであって、球状のガリウムリン (GaP) 単結晶を主体として製作されるほぼ球状の GaP ソーラセル 30 を製造する場合の製造工程を示す。ガリウムリン (GaP) は、エネルギーバンドギャップが約 2.25 eV の間接遷移形半導体である。

この GaP ソーラセル 30 は、太陽光スペクトルのうちの短波長側の感度波長帯域を持つ。このソーラセル 30 を製作する場合、最初に、n 形 GaP 単結晶インゴットから一辺が約 1.6 mm の立方体を切り出し、これを機械的・化学的研磨法で加工して、図 3 (a) に示すような直径約 1.2 mm の球状の n 形 GaP 単結

晶 3 1 を製作する。次に、図 3 (b) に示すように、球状の n 形 G a P 単結晶 3 1 の下端部をカットして基準面 3 2 を形成する。次に図 3 (c) に示すように、G a P 単結晶 3 1 の全表面にシリコン窒化膜 3 3 (S i 3 N₄) を形成する。次に図 3 (d) に示すように、基準面 3 2 とその外周近傍のシリコン窒化膜 3 3 を
5 拡散マスクとして残し、それ以外のシリコン窒化膜 3 3 を除去する。

次に、図 3 (e) に示すように、亜鉛 (Z n) などの p 形不純物を拡散して p 形 G a P からなる拡散層 3 4 と、この拡散層 3 4 と n 形 G a P 単結晶 3 1 の境界であるほぼ球面状の p n 接合 3 5 を形成する。拡散層 3 4 と p n 接合 3 5 を形成した後、拡散マスクとして利用したシリコン窒化膜 3 3 を完全に除去する。次に、
10 図 3 (f) に示すように、全表面に薄いシリコン酸化膜からなる反射防止膜 3 6 を形成する。次に、図 3 (g) に示すように、基準面 3 2 を目印にして p 形拡散層 3 4 の表面の中心と基準面 3 2 から n 形 G a P 単結晶 3 1 に臨む表面の中心部に、金を主体にそれぞれ亜鉛、ゲルマニウムをドーパントとして含有するペーストをドット状に塗布し、高温で短時間加熱処理すると、金などの金属が薄いシリ
15 コン酸化膜を貫通し、p 形 G a P 層 3 4 と n 形 G a P 単結晶 3 1 に夫々オーミック接触した正電極 3 7 と負電極 3 8 が形成される。

図 4 (a) ~ (d) は、太陽光スペクトルのうちの短波長域 (約 5 0 0 ~ 8 5 0 n m) の感度波長帯域を持つ太陽電池モジュールに組み込む G a A s ソーラセルであって、ほぼ球状のガリウム砒素 (G a A s) 単結晶を主体として製作されるほぼ球状の G a A l A s / G a A s ソーラセル 4 0 を製造する製造工程を示す。
20 ガリウム砒素 (G a A s) は、エネルギーバンドギャップが 1.43 e V の直接遷移形半導体であり、上記の S i と G a P との間のエネルギーバンドギャップを有する。

最初に、図 4 (a) に示すように、直径が約 1. 2 m m のほぼ球状の n 形 G a A s 単結晶 4 1 を製作する。この G a A s 単結晶 4 1 は前記の G a P 単結晶 3 1 のように機械的・化学的技法を用いて球形に形成することができる。しかし、原材料のロスを少なく、かつ、良好な単結晶を得るため本願の発明者が日本特許第 3 2 8 7 5 7 9 号において提案した方法で製作することができる。この方法におい
25

ては、 n 形GaAs原材料と少量のAsを石英アンプルに真空封入し、内部のGaAs原材料を外部から加熱溶融した状態で自由落下させながら冷却し凝固させて作る。自由落下中の微小重力状態でGaAs融液が表面張力により球状化し過冷却状態において物理的な刺激（トリガー）を付加することで急速に凝固させ、

- 5 図4（a）に示すほぼ球状のGaAs単結晶41を製作する。次に図4（b）に示すように、 n 形GaAs単結晶41の表面に p 形Ga_{0.2}Al_{0.8}As層49（3元混晶半導体）を液相エピタキシャル法で薄膜成長させる。この場合、Ga融液にGaAsソースとドーパントである亜鉛を少量添加したGa融液溜め中に高温で n 形GaAs単結晶41を浸漬し短時間保持した後、冷却して表面に p 形Ga_{0.2}Al_{0.8}As層49をエピタキシャル成長させる。Ga_{0.2}Al_{0.8}Asの結晶成長時に亜鉛が n 形GaAs単結晶41側に拡散して、 p 形GaAs層44が形成され、このGaAs層44の表面に pn 接合45が形成される。

- 次に、図4（c）に示すように、表面にシリコン酸化膜からなる反射防止膜46を形成した後、 n 形GaAs単結晶41の表面の突起部を水平にカットし、直径約0.3mm程度の基準面42を形成する。次に、図4（d）に示すように、基準面42を目印にして p 形GaAlAs層49に臨む表面の中心と、基準面42側から n 形GaAs単結晶41に臨む表面の中心部に、金を主体にそれぞれ亜鉛、ゲルマニウムをドーパントとして含有するペーストをドット状に塗布し、高温で短時間加熱処理する。この加熱処理により金などの金属が薄いシリコン酸化膜46（反射防止膜）を貫通して p 形GaAlAs層49と、 n 形GaAs単結晶41に夫々オーミック接触した正電極47と負電極48が形成される。

- 20 25 なお、上記のGaAlAs/GaAsソーラセル40の製作の際、 pn 接合45をGaAlAs層49内に形成したり、GaAlAs層49の組成比を変えてエネルギーバンドギャップを変えることにより感度波長帯域を短波長側へシフトすることが出来る。また、GaAlAs層49を設けずに、球状の n 形GaAs単結晶41に不純物を拡散してホモ接合形の pn 接合を形成しても良い。

図5～図7は、複数のSiソーラセル10を複数行複数列に組み込んだSiセル群モジュール70（Si太陽電池モジュール）を示す。図5～図7には、概念

的に100個のセルを組み込んだモジュールの例を図示しているが、実際のSiセル群モジュールでは、数100又は数1000のSiソーラセル10を組み込むものとする。

図5～図7に基づいてこのSiセル群モジュール70の構造と製造方法について説明する。先ず最初に、10個のソーラセル10を1対のリード線（直径0.1mm程度の銅線に銀メッキしたもの）間に等ピッチで並列接続したSiソーラセルアレー71を製作する。

正極リード線73をソーラセル10の正電極18に、負極リード線74をソーラセルの負電極19にそれぞれハンダ付けし、そのソーラセルアレー71を10本製作する。5本のアレー71を上層に等間隔に平行に配置し、5本のアレー71を下層に等間隔に平行に配置し、上層のアレー71の間に下層のアレー71を位置させ、平面視において上下のソーラセル10が重ならず接近するように配置し、全体を透明な合成樹脂75（例えば、柔軟性のあるシリコン樹脂）でモールドする。尚、上下のソーラセル10は、側面視においても重ならず接近している。上層には5行10列のソーラセル10が平面的に配置され、下層にも5行10列のソーラセル10が平面的に配置される。多数のソーラセル10を複数行複数列のマトリック状に組み込んだ実際のSiセル群モジュール70は、薄い可撓性のあるパネル状構造体となる。但し、可撓性のないモジュールに構成してもよい。

前記の合成樹脂75の下面には、透明ガラスシート76（厚さ0.2mm程度）を接着する。この透明ガラスシート76は、Si太陽電池モジュール70の機械的強度を保持しかつ他の太陽電池モジュールと接合する為の基準平面として利用する。樹脂モールド後の正極リード線73および負極リード線74の両端は、他のソーラセルアレーおよび他の太陽電池モジュールと電氣的接続を行う為に透明合成樹脂75の外部まで延ばしてある。10本の正極リード線73と10本の負極リード線74を用いて、100個のSiソーラセル10を直並列接続する直並列接続回路75（図16参照）が形成されるが、この直並列接続回路75については、図16に基づいて後述する。

前記Siセル群モジュール70を製作するのと同様にして、Siソーラセル10の代わりにGeソーラセル20を組み込むことによりセル群モジュール80（太陽電池モジュール）（図17参照）を製作することができる。Siソーラセル10の代わりにGaPソーラセル30を組み込むことによりセル群モジュール90（太陽電池モジュール）（図13参照）を製作することができる。Siソーラセル10の代わりにGaAlAs/GaAsソーラセル40を組み込むことによりセル群モジュール100（太陽電池モジュール）（図13、図17参照）を製作することができる。これらのモジュール80、90、100における直並列接続回路についても、Siセル群モジュール70の直並列接続回路75と同様であり、これらについても後述する。

なお、このような球状の複数のソーラセルを組み込んだ太陽電池モジュールについては、本願の発明者が国際公開公報WO2004/001858号などに既に開示してある。

次に、図8、図9は、本願の積層型太陽電池に組み込まれる太陽電池モジュールであって、太陽光における長波長域（約900～1700nm）のスペクトルに感度波長帯域を有する太陽電池モジュール（要素モジュール）の一例であるInGaAs/InP平面受光モジュール60を示す。

n形InP基板61の表面にn形In_{0.53}Ga_{0.47}As層62をエピタキシャル成長させ、そのn形層の上からp形不純物としての亜鉛を拡散してp形In_{0.53}Ga_{0.47}As層64を形成し、平面状の共通のpn接合65を形成する。この拡散に際し拡散マスクとしてSi₃N₄を用い、n形In_{0.53}Ga_{0.47}As層62の周縁を残して選択的に拡散しp形層64を形成しても良い。

なお、図示していないが、InGaAs層64の上にこれよりもエネルギーバンドギャップが大きいn形InPをエピタキシャル成長させた後、その表面からp形不純物を拡散してInGaAs層64内にpn接合を形成しても良い。ウィンドウ層としてのInP層を設けることにより表面における再結合速度を減らして光電変換効率の改善を行うことができる。また、前記のInとGaの組成比は、例示にすぎず変更することができる。

次に、受光面となるp形InGaAs層64の表面に図8に示すようにコールドミラー膜66を形成する。コールドミラー膜66は、波長が約1100nm以下の光を反射し、それ以上の光を透過するように設定した誘電体多層膜で構成される。誘電体多層膜は、高屈折率の誘電体(TiO₂やTa₂O₅など)の膜と
5 低屈折率の誘電体(SiO₂)の膜を交互に積層したもので、それぞれの厚みと膜数は反射する波長及び反射率を考慮して設定される。

n形InP基板61の下面の全面に負電極68(少量のゲルマニウム、ニッケルを含有する金)をオーミック接触するように設け、p形InGaAs層64の表面には、受光面積を多く為にストライプ状にした正電極67(少量の亜鉛を含有する金)をオーミック接触するように設ける。この平面受光型モジュール60
10 は、公知のInGaAs/InPによる長波長フォトダイオードの製造技術などに基づいて製造可能である。次に、銅線に銀メッキしたリード線(直径0.1mm)からなる正極リード67aと負極リード68aを、それぞれ正電極67と負電極68にハンダ付けして接続する。

図10、図11は、本願の積層型太陽電池に組み込まれる太陽電池モジュールであって、太陽光のスペクトルのうちの短波長域(約300~600nm)に感
15 度波長帯域を有する太陽電池モジュール(要素モジュール)の一例であるGaAsP/GaP平面受光モジュール50の平面図、断面図である。

n形GaP基板51上に、公知の気相エピタキシャル成長法を用いてn形GaAs_{0.1}P_{0.9}層52を形成する。この組成の場合、GaAsPはエネルギーバ
20 ンドギャップが約2.21eVの間接型遷移半導体である。次にGaAsP層52の上からp形不純物である亜鉛を拡散してp形GaAs_{0.1}P_{0.9}層54を形成し、このGaAsP層54内にpn接合55を形成する。図示していないがn形GaAsP層52の表面周縁に拡散マスクSi₃N₄膜を設けて亜鉛拡散を行ない、
25 プレーナ形pn接合を形成する。この方法は、公知の黄色の発光ダイオード(LED)の製造法でも用いられている。

p形GaAsP層54とn形GaP基板51の表面に夫々オーミック接触する正電極57(少量の亜鉛を含有する金)と負電極58(少量のゲルルマニウム、

ニッケルを含有する金) を設ける。平面受光モジュール 50 の受光面積を多くと
るため、正電極 57 と負電極 58 は、図示のように細いストライプ状にして両側
の位置を揃える。ストライプ状の電極 57 で囲まれた受光窓の表面には透明な反
射防止膜 56 を設ける。なお、前記の p 形 GaAsP 層 54 は、GaAsP/Ga
5 aP 平面受光モジュール 50 の受光表面となり、後述の太陽電池 300 (図 17
参照) の場合には、GaAsP/GaP 平面受光モジュール 50 を透過した長い
波長の光はこのモジュール 50 の下方に配置される 3 層の太陽電池モジュールの
方へ入射する。次に、銅線に銀メッキしたリード線 (直径 0.1 mm) を用いて
正電極 57 と負電極 58 の両端に正極リード線 57a と負極リード線 58a を
10 夫々ハンダ付けして電氣的に接続し、それらリード線 57a, 58a をこの平面
受光モジュール 50 の外部へ導出する。

次に、第 1 例の積層型太陽電池 200 について説明する。

図 12、図 13 は、GaP セル群モジュール 90 と、GaAlAs/GaAs
セル群モジュール 100 と、Si セル群モジュール 70 と、InGaAs/In
15 P 平面受光モジュール 60 の 4 種類の 4 つの太陽電池モジュールで構成した積層
型太陽電池 200 の平面図と断面図である。

この積層型太陽電池 200 においては、太陽光スペクトルに対して異なる感度
波長帯域を持つ太陽電池モジュール 90, 100, 70, 60 を、感度波長帯域
における中心波長が短いモジュールほど太陽光の入射側に位置するように積層し
20 てある。図 14 から分かるように、太陽電池モジュール 90, 100, 70,
60 の感度波長帯域における中心波長は、モジュール 90 の中心波長 (約 450
nm) < モジュール 100 の中心波長 (約 700 nm) < モジュール 70 の中心
波長 (約 800 nm) < モジュール 60 の中心波長 (約 1300 nm)、の関係
になっている。そのため、最下層に窒化アルミニウム基板 201 を配置し、その
25 上に、透明合成樹脂 202 内に組み込んだ InGaAs/InP 平面受光モジ
ュール 60、Si セル群モジュール 70、GaAlAs/GaAs セル群モジ
ュール 100、GaP セル群モジュール 90 の順に積層して透明な接着で接合し、太
陽光を受光する受光面を形成する最上層に透明ガラスカバー 203 を重ねて透明

な接着剤で接合してある。

モジュール60の正負極リード線67a、68a、モジュール70の正負極リード線73、74、モジュール100の正負極リード線103、104、モジュール90の正負極リード線93、94は、夫々モジュールの外部まで延び、それぞれのモジュール70、100、90の直並列接続回路75、105、95（図16参照）を構成している。

図 1 4 は、太陽光スペクトル分析装置で得られた太陽光スペクトルと、積層型太陽電池 2 0 0 の分光感度特性（実線）とこれを構成するソーラセル 3 0, 4 0, 1 0 などの単独使用時の分光感度特性を概念的に示す図である。

図 1 4 において、太陽光スペクトルと積層型太陽電池 2 0 0 の分光感度特性のギャップ部分（図の斜線部分）は、この太陽電池 2 0 0 では光電変換できないエネルギー未利用部分であり、太陽電池 2 0 0 の分光感度特性の感度波長域を越える長波長のスペクトル部分は、この太陽電池 2 0 0 を透過してしまうエネルギー未利用部分である。これらはいずれも光電変換出来ない損失エネルギーであるから最少化することが望ましい。

モジュール 90, 100, 70, 60 の各々単独では、感度波長帯域が狭いだけでなく、受光した光のエネルギーがバンドギャップよりも大きすぎるエネルギー分は、出力として有効に利用できない。図 14 は、エネルギーバンドギャップ（これは感度波長帯域に対応する）が異なる太陽電池モジュールを積層して組み合わせることにより利用可能な波長域（図の白地部分）が広くなり高い光電変換効率

図 15 は、積層型太陽電池 200 における入射光の光路と反射光の光路と、反射と吸収の態様を次の 3 通りについて説明する説明図である。この図から、球状またはほぼ球状のソーラセル 30, 40, 10 を組み込んだ太陽電池 200 の効果 25 がわかる。

ケース 1：透明カバーガラス 203 に垂直に入射した太陽光が光路上の各ソーラセル 30、40、10 とモジュール 60 を垂直に進行する場合。

屈折率の異なる各界面を反射する光と各ソーラセル以外の物質で吸収される光

を除いて、直進する太陽光は、基本的にエネルギーバンドギャップを反映したソーラセルの特性に応じて吸収され光電変換に寄与する。この太陽電池200において、ソーラセル30, 40, 10とモジュール60を、太陽光の入射側からエネルギーバンドギャップの高い順に配置しているため、波長の短い光から長い光の順にソーラセル30, 40, 10とモジュール60により吸収される。入射側の上側のセルで吸収し切れなかった光は、その下側の次段のソーラセルに入射し、そこで吸収されなかった光はその下側の次段のソーラセルに入射し、最後のモジュール60で吸収されない光は透過損となる。

このように上方のソーラセルは下方のソーラセルやモジュール60に対してフィルターの役割を果たすため、過度な光エネルギーを受けて熱エネルギーに変換される割合が低減する。感度波長帯域が最も長いInGaAs/InP平面受光モジュール60の上側表面に形成したけたコールドミラー66は、Siソーラセル10で光電変換できる最長波長の光よりも短い波長域の光を反射し、それよりも長い波長域の光を透過するフィルターとして機能する。こうして、InGaAs/InP平面受光モジュール60が過度に大きい光エネルギーを吸収するのを防止し、平面受光モジュール60の温度上昇が抑制され、その耐久性が向上する。これと同様に、上方のソーラセルが、下方のソーラセルに対して過度なエネルギーをもつ光を吸収し、光電変換するため、ソーラセル100, 70の温度上昇も抑制される。

ほぼ球状のソーラセルにおいては、そのソーラセルを光が透過する際に、光エネルギーの大きさに応じて入射点から進行方向にかけて光の吸収が起こるが、ソーラセルの中心に対して反対側にも同一のpn接合があるため、感度波長帯域内の長い波長の光が吸収され、感度波長帯域が広くなるという特長がある。

ケース2：入射光がソーラセルの表面で反射される場合。

図15に示すように、球状のソーラセル30, 40, 10の表面で反射された光が他のソーラセルに入射してその光学的特性に応じて吸収、透過が起こる。光の反射は、ソーラセルだけでなくソーラセルの正負極リード線や透明ガラスシート96, 106, 76によっても生じる。反射光は、モジュール90, 100,

70, 60の内部で反射を繰り返し、光が全体に拡散する。このため直射光の届かないソーラセルの下側（受光側と反対側）にも光が入射し、ソーラセル全体の出力を増加させるという効果が得られる。この効果は、上部のソーラセル間を通過した光を下部のソーラセルや透明ガラスや TiO_2 などフィルターの配置の仕方
5 如何で一層高めることができる。

ケース3：表面に傾斜状に入射した太陽光がソーラセル内部に捕捉され閉じ込められる場合。ソーラセル30, 40, 10の屈折率が大きいため、入射した太陽光の角度によっては、ソーラセル内に全反射による光閉じ込め作用が生じ、ソーラセル内のpn接合によって光電変換される成分が発生し、出力が高まるという効果も期待できる。
10

ケース4：透明カバーガラス203とモジュール60のコールドミラー66間で光が閉じ込められ、光の吸収性、光電変換の効率が向上する。

図16は、前記の受光部表面積の等しいモジュール90, 100, 70, 60を積層した前記の積層型太陽電池200において、モジュール90, 100, 70, 60を直列接続する直列接続回路205と、太陽電池200の出力を最大化するように、各モジュール90, 100, 70において複数のソーラセル30, 40, 10を直並列接続する最適な直並列接続回路95, 105, 75の一例を示す。基本的に、直並列接続回路95, 105, 75は、モジュール90, 100, 70の出力電流が、それぞれ、出力電流が最も小さいモジュール60の出力電流と等しくなるように構成され、直並列接続回路95, 105, 75は前記正負極リード線93, 95, 103, 104, 73, 74, 67a, 68aを活用して構成される。
15
20

InGaAs/InP 平面受光モジュール60の最大出力電流を I とした場合には、 GaP セル群モジュール90の全部のソーラセル30を並列接続した場合の最大出力電流を $2I$ 、 $\text{GaAlAs}/\text{GaAs}$ セル群モジュール100の全部のソーラセル40を並列接続した場合の最大出力電流を $3I$ 、 Si セル群モジュール70の全部のソーラセル10を並列接続した場合の最大出力電流を $4I$ と仮定した場合を例に説明する。
25

図 16 に示すように、モジュール 90 では直並列接続回路 95 の直列接続数を 2 に設定すれば出力電流が I となる。モジュール 100 では直並列接続回路 105 の直列接続数を 3 に設定すれば出力電流が I となる。モジュール 70 では直並列接続回路 75 の直列接続数を 4 に設定すれば出力電流が I となる。こうして、

5 モジュール 90, 100, 70 の出力電流がそれぞれ I となり、モジュール 60 の出力電流 I と等しくなる。このように、モジュール 90, 100, 70, 60 の出力電流が同じになるように構成すると、モジュール 90, 100, 70 は最大の発電能力を発揮する。

更に、具体的に説明すると、1 個のソーラセル 30, 40, 10 の最大出力電流を夫々 i_{30} , i_{40} , i_{10} とし、複数のソーラセル 30, 40, 10 の並列接続数を夫々 N_{30} , N_{40} , N_{10} とし、モジュール 60 の出力電流 I とする。

$i_{30} \times N_{30} = i_{40} \times N_{40} = i_{10} \times N_{10} = I$ の式がほぼ成立するように並列接続数を設定すると、モジュール 90, 100, 70, 60 の出力電流がほぼ同じ値になる。

15 尚、1 個のソーラセル 30, 40, 10 の最大出力電圧を夫々 v_{30} , v_{40} , v_{10} とし、複数のソーラセル 30, 40, 10 の直列接続数を夫々 M_{30} , M_{40} , M_{10} とし、モジュール 60 の出力電圧を v_{60} とすると、積層型太陽電池 200 の出力電圧 V は、 $V = (v_{30} \times M_{30}) + (v_{40} \times M_{40}) + (v_{10} \times M_{10}) + v_{60}$ となる。

20 このように積層型太陽電池 200 を構成する複数のモジュール 90, 100, 70, 60 においてソーラセルを直並列接続する並列数と直列数を調整することで、積層型太陽電池 200 全体の出力（電力）を最大化することができる。

このような直並列接続回路 95, 105, 75 は、ソーラセルアレーの端子である正負極リード線を介して構成できるが、太陽光のスペクトルや入射光の変動

25 に対応して出力が最大になるよう電子スイッチ回路により直並列接続回路 95, 105, 75 を切り替え、直列接続数と並列接続数を変えるように構成してもよい。各モジュール 90, 100, 70 において、複数のソーラセルを並列接続して構成されたソーラセルアレーをリード線を介して直列接続するため、複数のソ

ーラセルに特性のばらつきが生じて、ばらつきに応じた電流分担がなされモジュールの出力低下が最小となる。尚、従来の積層型太陽電池では、平面受光モジュールだけを用いるため、本願の積層型太陽電池 200 のように直並列接続による出力電流の整合を図ることが困難である。

- 5 以上説明した積層型太陽電池 200 においては、セル群モジュール 90, 100, 70 を上方から順に積層し、最下層に平面受光モジュール 60 を配置し、感度波長帯域における中心波長が短いものほど太陽光の入射側に位置するように配置したので、短かい波長の透過性に乏しい光は上層において吸収させ、長い波長の透過性に優れる光は下層において吸収させることができるため、太陽電池 200 の光電変換効率を高めることができる。

- 10 上側の 3 層にセル群モジュール 90, 100, 70 を組み込み、最下層に平面受光モジュール 60 を組み込んだため、平面受光モジュール 60 で反射した反射光を上方のモジュールで光電変換する上で有利である。特に、モジュール 60 には、モジュール 90, 100, 70 で光電変換しやすい 1100 nm 以下の波長の光を反射するコールドミラー 66 を設けたため、反射光を活用して光電変換効率を高める上で有利である。セル群モジュール 90, 100, 70 の各々は、その下側のモジュールに 100, 70, 60 に対してフィルターとして機能するため、それら下側のモジュールが過熱しにくく、光電変換効率を高める有利である。図 14 に示すように、モジュール 90, 100, 70, 60 の感度波長帯域を適切に設定したため、太陽光スペクトルの広範囲の光を光電変換に供することが可能となり、この太陽電池 200 の光電変換効率は 50 % 以上まで高め得る可能性がある。

- 25 しかも、図 16 に示すように、モジュール 90, 100, 70 の各々の出力電流を、モジュール 60 の出力電流と等しくするような直並列接続回路 95, 105, 75 を設けるため、太陽電池 200 の発電機能を十分に発揮させ、光電変換効率を高めることができる。

更に、モジュール 90, 100, 70 に組み込むソーラセル 30, 40, 10 には、夫々、反射防止膜 36, 46, 17 が形成されるため、セル自身が斜め方

向の入射光を反射拡散し、光の吸収効果が増し、また、太陽電池 200 の内部での光の閉じ込め効果も増し、光電変換効率の向上に有効に作用する。

モジュール 90, 100, 70 においては、ソーラセル 30, 40, 10 を 2 層に配置し、平面視でも側面視でも、ソーラセル 30, 40, 10 を密に配置しているため、pn 接合の合計面積が大きくなって、光電変換効率が改善される。

しかも、各ソーラセル 30, 40, 10 において、正負の電極を結ぶ方向を水平方向に向けてあるため、上方から入射する光は各ソーラセルに入射した場合に、pn 接合に少なくとも 2 回遭遇する機会があるから、光電変換効率が改善される。但し、下方からソーラセルに入射する反射光によっても光電変換効率が改善される。

さらに、各モジュール 90, 100, 70 に組み込むソーラセル 30, 40, 10 は、他の太陽電池モジュールの半導体の格子定数等の影響を受けずに、独立に製作することができるため、設計と製作の自由度に優れる。

次に、第 2 例の積層型太陽電池 300 について説明する。但し、この太陽電池 300 に採用したモジュールの種類は太陽電池 200 のモジュールと一部異なっているが、太陽電池 200 と同様の構造であるので簡単に説明する。

図 17、図 18 は、GaAsP/GaP 平面受光モジュール 50 と、GaAlAs/GaAs セル群モジュール 100 と、Si セル群モジュール 70 と、Ge セル群モジュール 80 の 4 種類の 4 つの太陽電池モジュールで構成した積層型太陽電池 300 の断面図である。

この太陽電池 300 においては、太陽光スペクトルに対して異なる感度波長帯域を持つ太陽電池モジュール 50, 100, 70, 80 を、感度波長帯域における中心波長が短いモジュールほど太陽光の入射側に位置するように積層してある。図 19 から分かるように、太陽電池モジュール 50, 100, 70, 80 の感度波長帯域における中心波長は、モジュール 50 の中心波長（約 450 nm）<モジュール 100 の中心波長（約 700 nm）<モジュール 70 の中心波長（約 800 nm）<モジュール 80 の中心波長（約 1200 nm）、の関係になっている。そのため、最下層に窒化アルミニウム基板 301 を配置し、その上に

Geセル群モジュール80、Siセル群モジュール70、GaAlAs/GaAsセル群モジュール100、GaAsP/GaP平面受光モジュール50の順に積層して透明な接着剤で接合し、太陽光を受光する受光面を形成する最上層に透明ガラスカバー304を重ねて透明な接着剤で接着してある。

- 5 モジュール80の正負極リード線83、84、モジュール70の正負極リード線73、74、モジュール100の正負極リード線103、104、モジュール50の正負極リード線57a、58aは、夫々モジュールの外部まで延び、それぞれのモジュールの直並列回路（図示略）を構成している。

- 10 この太陽電池300においては、最も入射側にあるGaAsP/GaP平面受光モジュール50が短波長域の光を光電変換し、このモジュール50を透過した光がその下のモジュール100のGaAlAs/GaAsソーラセル40で光電変換され、このモジュール100を透過した光がその下のモジュール70のSiソーラセル10で光電変換され、このモジュール70を透過した長い波長の光がGeソーラセル20で光電変換される。

- 15 Geソーラセル20の下には、アルミニウム反射膜302をコーティングした窒化アルミニウム基板301が透明接着剤を介して固着される。アルミニウム反射膜302は、上部のソーラセル間を通り抜けた光やモジュール内部で反射した光を再反射する作用を果たし太陽光の未利用分を少なくするものである。

- 20 各モジュール100、70、80のソーラセル40、10、20間では、図15に基づいて説明したと同様に光の反射、散乱が生じ、ソーラセルの下側にも入射して光電変換に供される。図16に基づいて説明したのと同様に、モジュール100、70、80の出力電流をモジュール50の出力電流と夫々等しくするために、それぞれのソーラセル40、10、20の出力特性に応じて各モジュール100、70、80の並列直列接続回路における最適な直列接続数と並列接続数
25 が設定される。

以上説明した積層型太陽電池300においても、基本的に太陽電池200と同様の作用効果が得られるが、太陽電池200と異なる点について簡単に説明する。球状のソーラセルに構成するのが難しい半導体であって、太陽光スペクトルの短

波長域に感度波長帯域を持つGaAsP化合物半導体を主体とする平面受光モジュール50を有効活用して、積層型太陽電池300を構成することができる。また、最上層の平面受光モジュール50に形成する反射防止膜56により、太陽電池300の内部への光の閉じ込め作用を強化することができる。

- 5 以上説明した実施例では、太陽スペクトルの短波長側の高エネルギー帯または長波長側の低エネルギー帯に対して平面受光モジュール60, 50を利用した。このような波長域で高い光電変換を実現する化合物半導体を利用した太陽電池モジュールでは、必ずしも球状のソーラセルを採用しなくともよく、製作上容易な平面受光モジュールを採用すれば、費用対効果の面で有利である。

- 10 次に、別実施例に係る積層型太陽電池について説明する。

図20、図21に示すように、この積層型太陽電池400は、円筒状の2種類の太陽電池モジュール410, 420を同心円状に密着状に積層し、最外層に薄い透明ガラス又は合成樹脂製の透明円筒体401を被せ、最内層にも同様の薄い透明ガラス又は合成樹脂製の透明円筒体402を装着した構造のものである。

- 15 この太陽電池400の中心部には流体通路403が形成され、この流体通路403に流通させる液体や気体に太陽電池400から熱を与えて太陽電池400を冷却するようになっている。

- 内側の太陽電池モジュール410は、複数の前記のGeソーラセル20を複数行複数列に整列させて円筒形に構成したGeセル群モジュールである。これは、
20 前記のGeセル群モジュール80を円筒形に構成したものと同様のものである。
外側の太陽電池モジュール420は、複数の前記のGaAlAs/GaAsソーラセル40を複数行複数列に整列させて円筒形に構成したGaAlAs/GaAsセル群モジュールである。これは、前記のGaAlAs/GaAsセル群モジュール100を円筒形に構成したものと同様のものである。

- 25 各モジュール410, 420において、各ソーラセルアレーの正負極リード線404, 405がモジュール410, 420の両端部から外部へ突出しているが、各ソーラセルアレーは、ソーラセル20, 80の正負の電極を結ぶ線が太陽光の入射方向と直交する方向に向くように配置することが望ましい。

太陽電池モジュール410、420の各々において、正負極リード線404、405を介して複数のソーラセル20、80が直並列接続され、太陽電池モジュール410、420の出力電流が等しくなるように直並列接続回路が構成され、太陽電池モジュール410、420は直列接続されている。

- 5 太陽光は外部から入射する関係上、感度波長帯域の中心波長の長い方のGeセル群モジュール410が内側に配置され、感度波長帯域の中心波長の短い方のGaAs/GaAsセル群モジュール420が外側に配置されている。

- この積層型太陽電池400は太陽電池モジュール410、420を積層した2層構造の太陽電池であるが、上方から矢印のように入射する太陽光にとっては、
10 4層構造の太陽電池に相当し、太陽電池400の左右の両側部については4層以上の太陽電池に相当するため、太陽光がソーラセルに遭遇する機会が多くなるため、光電変換効率が高くなる。

- しかも、この積層型太陽電池400では、外形が円筒形であるため、太陽光の入射方向に対する指向性がなく、種々の方向から入射する太陽光を吸収し易い。
15 しかも、内部の流体に流通させる流体により冷却できるため、光電変換効率が高くなり、熱による劣化が抑制されて耐久性も改善される。

尚、この実施例では、2層構造の太陽電池を例にして説明したが、3種類以上の円筒形の太陽電池モジュールを同心円状に積層した3層構造、4層構造、5層の積層型太陽電池も実現可能である。

- 20 次に、上記の実施例を部分的に変更した変更形態について説明する。

- 1] 積層型太陽電池に組み込む太陽電池モジュールの種類は、2種類でもよく、3種類でもよく、5種類以上でもよいが、少なくとも1種類の太陽電池モジュールは複数のソーラセルを有するセル群モジュールで構成するものとし、少なくとも1種類の太陽電池モジュールは平面受光モジュールで構成することが望ましい。
25 そして、感度波長帯域の中心波長の短いものモジュールほど太陽光の入射側になるように配置する。

例えば、1種類の平面受光モジュールと1種類のセル群モジュールとを設け、平面受光モジュールを入射側の上層に配置し、セル群モジュールを下層に配置す

る。その反対に、セル群モジュールを入射側の上層に配置し、平面受光モジュールを下層に配置する。

例えば、1種類の平面受光モジュールと2種類のセル群モジュールとを設け、1つの平面受光モジュールを入射側の上層に配置し、1つのセル群モジュールを中段層に配置し、1つのセル群モジュールを下層に配置する。その反対に、1つのセル群モジュールを入射側の上層に配置し、1つのセル群モジュールを中段層に配置し、1つの平面受光モジュールを下層に配置する。

例えば、2種類の平面受光モジュールと、2種類のセル群モジュールとを設け、2つのセル群モジュールを中段層に配置し、それらを上下からはさみ込むように上層と下層に夫々平面受光モジュールを配置する。

2] 最上層に配置する平面受光モジュール（太陽電池モジュール）を、窒化ガリウム（GaN）単結晶や炭化珪素（SiC）単結晶などの紫外線を吸収して発電する半導体を用いて構成する。その場合、高い光エネルギーの紫外線を有効活用して発電できるため、積層型太陽電池の光電変換効率を高めることができるだけでなく、下方の太陽電池モジュールが紫外線により劣化するのを効果的に抑制することができる。

3] ソーラセルを前記半導体以外の光電変換が可能なシリコンなどのアモルファス半導体、Ⅲ－Ⅴ族系化合物半導体（例えば、InGaN, InGaPなど）、Ⅱ－Ⅵ族系化合物半導体（例えば、ZnO, Cd－Teなど）、Ⅵ族元素（S, Se, Teなど）を含むカルコゲナイト化合物半導体（例えば、CuInGaSe₂）を材料にして製造してもよい。

4] 積層型太陽電池に組み込む複数の太陽電池モジュールを全てセル群モジュールで構成する。この場合、最下層の太陽電池モジュールの下部又は下面に光を反射する機能のある反射膜や反射部材を設けることが望ましい。

5] 前記透明ガラスカバー76や窒化アルミニウム基板201, 301などのような硬い材料の代わりに柔軟性がある透明なシートを適用して、フレキシブル積層型太陽電池にする。

6] 前記モジュール70, 80, 90, 100の透明な合成樹脂75の代わり

に、を透明な絶縁性ガラスを採用してもよい。

7] 前記モジュール70, 80, 90, 100内部の光透過部分に透明で屈折率がこれよりも大きいガラス、 TiO_2 などの散乱材（フィラー）を混入し、光透過部分の光性能を高める。

請 求 の 範 囲

1. 複数の太陽電池モジュールを組み込んで一体的に積層した積層型太陽電池において、

5 異なる感度波長帯域を有する複数種類の太陽電池モジュールであって、感度波長帯域における中心波長が短いモジュールほど太陽光の入射側に位置するように積層された複数種類の太陽電池モジュールを有し、

少なくとも1種類の太陽電池モジュールは、複数行複数列に整列された複数のほぼ球状のソーラセルを有するセル群モジュールで構成された、

10 ことを特徴とする積層型太陽電池。

2. 少なくとも1種類の太陽電池モジュールは平面状の共通のp n接合を有する平面受光モジュールで構成されたことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の積層型太陽電池。

3. 4種類の太陽電池モジュールを有し、

15 3種類の太陽電池モジュールは、夫々、複数行複数列に整列された複数のほぼ球状のソーラセルを有するセル群モジュールで構成され、

1種類の太陽電池モジュールは、平面状の共通のp n接合を有する平面受光モジュールで構成されたことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の積層型太陽電池。

20 4. 前記セル群モジュールにおける複数行複数列に整列されたソーラセルは、行方向又は列方向に延びて外部へ導出された複数のリード線を介して電氣的に接続されたことを特徴とする請求の範囲第1項～第3項の何れかに記載の積層型太陽電池。

5. 各セル群モジュールは、前記複数のリード線を介して複数のソーラセルを
25 直並列接続する直並列接続回路を備えたことを特徴とする請求の範囲第4項に記載の積層型太陽電池。

6. 複数種類の太陽電池モジュールを直列接続する直列接続回路を有し、
各セル群モジュールの出力電流が前記平面受光モジュールの出力電流とほぼ等

しくなるように、各セル群モジュールの直並列接続回路が構成されたことを特徴とする請求の範囲第5項に記載の積層型太陽電池。

7. 前記各セル群モジュールは、平面上に複数行複数列に整列された複数の球状のソーラセルの層を2つ有し、これら2層のソーラセルは平面視において重複せず
5 せずに接近するように配置されたことを特徴とする請求の範囲第6項に記載の積層型太陽電池。

8. 前記平面受光モジュールは、複数のセル群モジュールの下側に位置するように最下層に配置され、この平面受光モジュールの下部又は下面側に太陽光を反射可能な反射部材が設けられたことを特徴とする請求の範囲第4項に記載の積層
10 型太陽電池。

9. 太陽光の入射方向における最も入射側にある太陽電池モジュール以外の何れかの太陽電池モジュールにおいて、その太陽電池モジュールの表面に、それよりも上方の太陽電池モジュールで吸収されやすい感度波長帯域の光を反射するミラー膜を形成したことを特徴とする請求の範囲第7項に記載の積層型太陽電池。

10. 前記セル群モジュールにおいては、複数のソーラセルが透明なガラス又は合成樹脂材料の内部に埋め込み状に収容されたことを特徴とする請求の範囲第7
15 項に記載の積層型太陽電池。

11. 太陽光の入射方向において最も入射側にある太陽電池モジュールの上面に透明なガラス又は合成樹脂からなる透明部材が固着されたことを特徴とする請求項7に記載の積層型太陽電池。
20

12. 前記平面受光モジュールは、複数のセル群モジュールより下方の最下層に配置され、3種類のセル群モジュールは、太陽光の入射側から順に積層される第1～第3のセル群モジュールを有し、

第1のセル群モジュールはほぼ球状のGaP単結晶の表層部にほぼ球面状のpn接合を形成した複数のソーラセルを有し、第2のセル群モジュールはほぼ球状
25 のGaAs単結晶の表層部にほぼ球面状のpn接合を形成した複数のソーラセルを有し、第3のセル群モジュールはほぼ球状のSi単結晶の表層部にほぼ球面状のpn接合を形成した複数のソーラセルを有することを特徴とする請求の範囲第

3 項に記載の積層型太陽電池。

1 3. 前記平面受光モジュールは、 n 形 InP 半導体基板上に形成した $InGaAs$ 半導体層内に形成した平面状の共通の pn 接合を有することを特徴とする請求の範囲第 1 2 項に記載の積層型太陽電池。

5 1 4. 前記平面受光モジュールは、複数のセル群モジュールより上方の最上層に配置され、3 種類のセル群モジュールは、太陽光の入射側から順に積層される第 1 ～第 3 のセル群モジュールを有し、

第 1 のセル群モジュールはほぼ球状の $GaAs$ 単結晶の表層部にほぼ球面状の pn 接合を形成した複数の太陽電池光セルを有し、第 2 のセル群モジュールはほぼ球状の Si 単結晶の表層部にほぼ球面状の pn 接合を形成した複数のソーラセルを有し、第 3 のセル群モジュールはほぼ球状の Ge 単結晶の表層部にほぼ球面状の pn 接合を形成した複数のソーラセルを有することを特徴とする請求の範囲第 3 項に記載の積層型太陽電池。

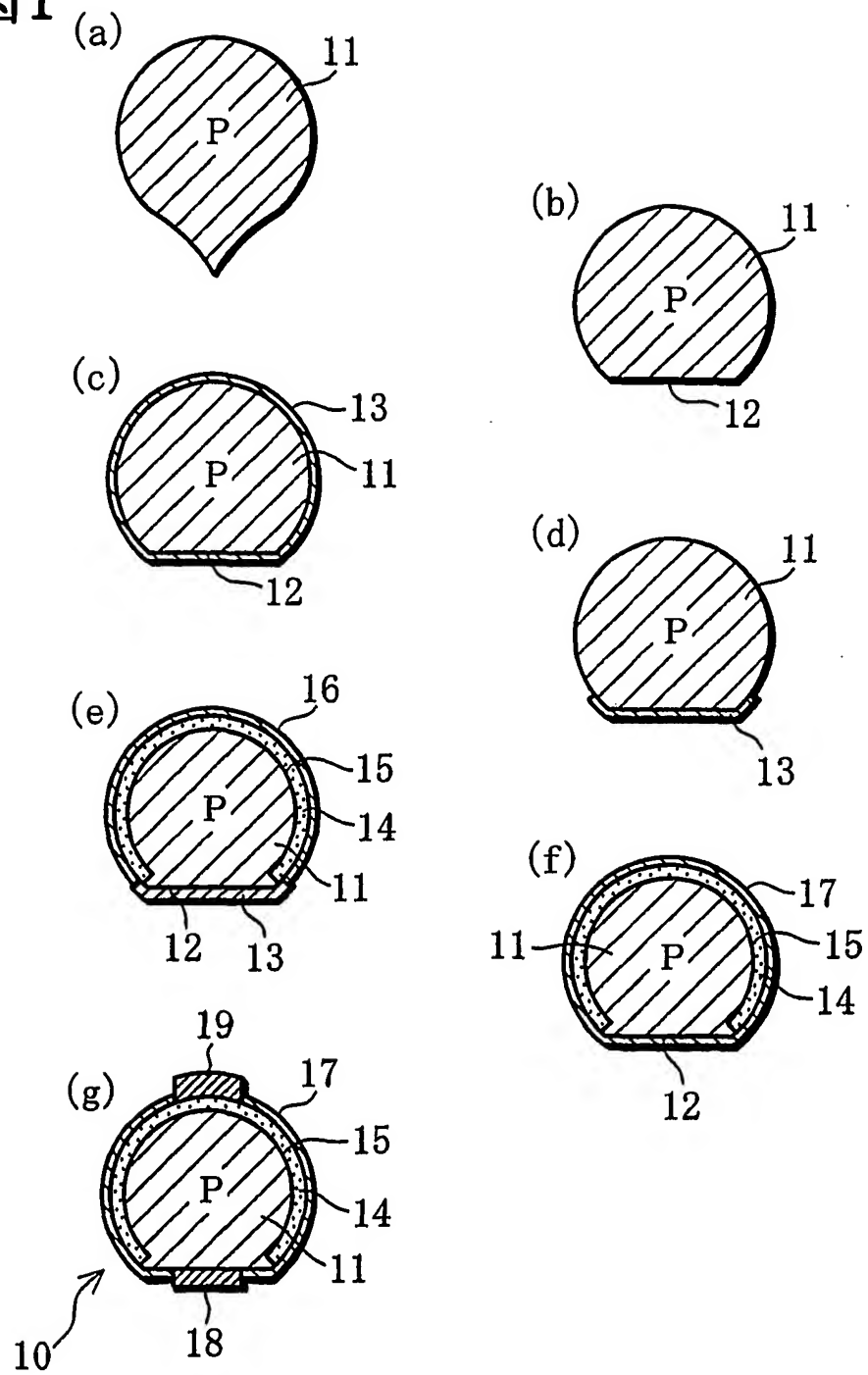
15 1 5. 前記平面受光モジュールは、 n 形 GaP 半導体基板上に形成した $GaAsP$ 半導体層内に形成した平面状の共通の pn 接合を有することを特徴とする請求の範囲第 1 4 項に記載の積層型太陽電池。

1 6. 2 種類の平面受光モジュールを有し、これら 2 種類の平面受光モジュールの間に、1 又は複数のセル群モジュールが組み込まれたことを特徴とする請求の範囲第 2 項に記載の積層型太陽電池。

20 1 7. 複数種類の太陽電池モジュールが円筒状に形成され、

これら太陽電池モジュールが同心円状に積層されたことを特徴とする請求項第 1 項に記載の積層型太陽電池。

図1



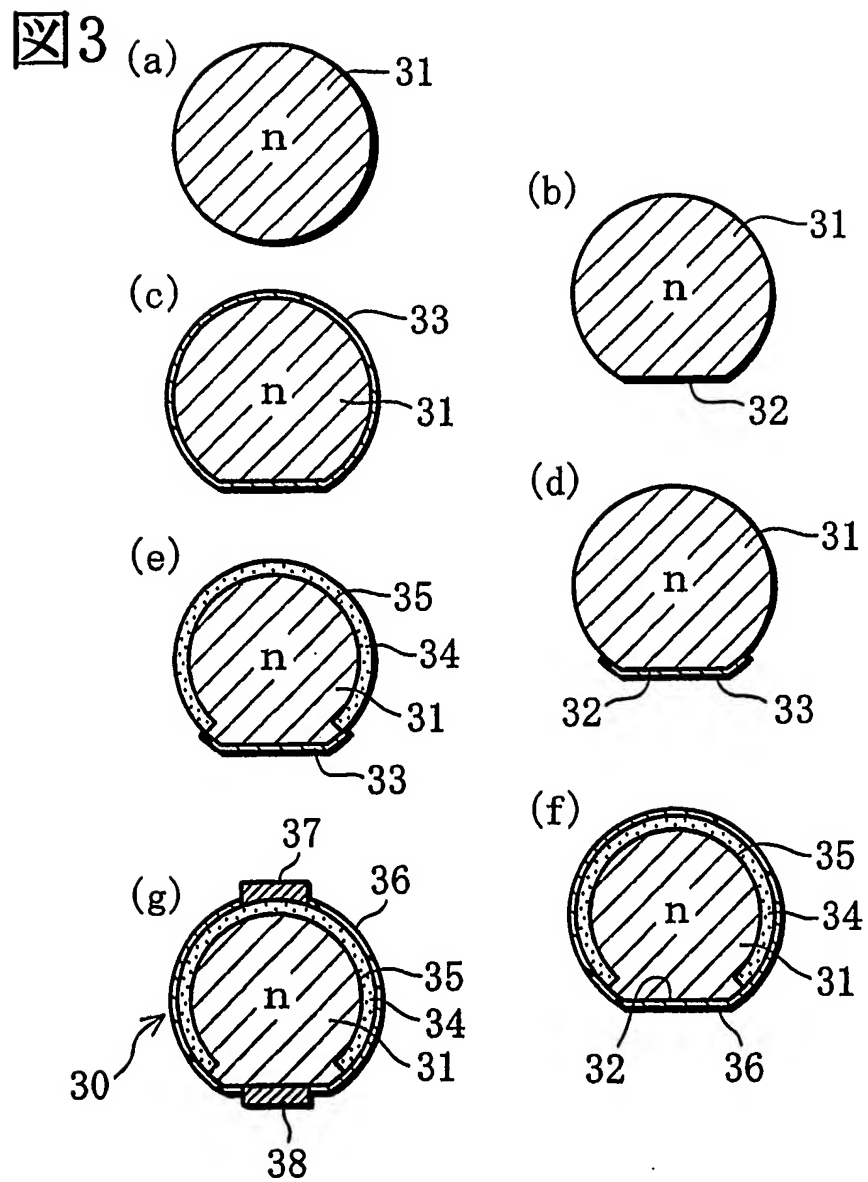
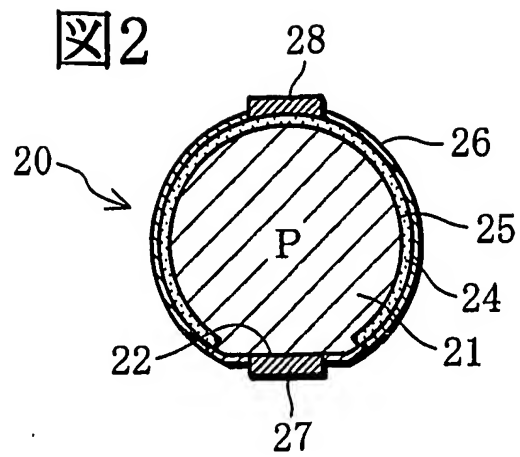
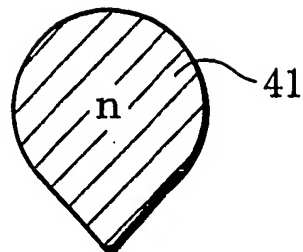
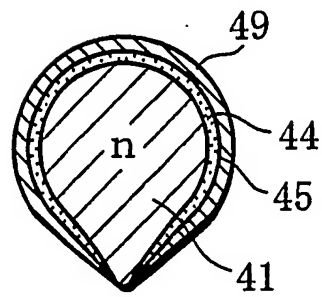


図4

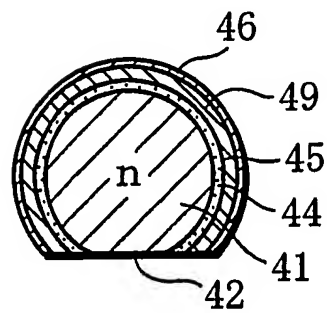
(a)



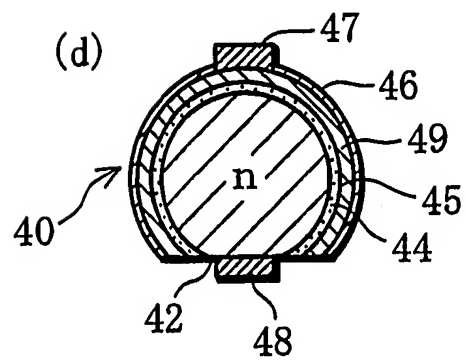
(b)



(c)



(d)



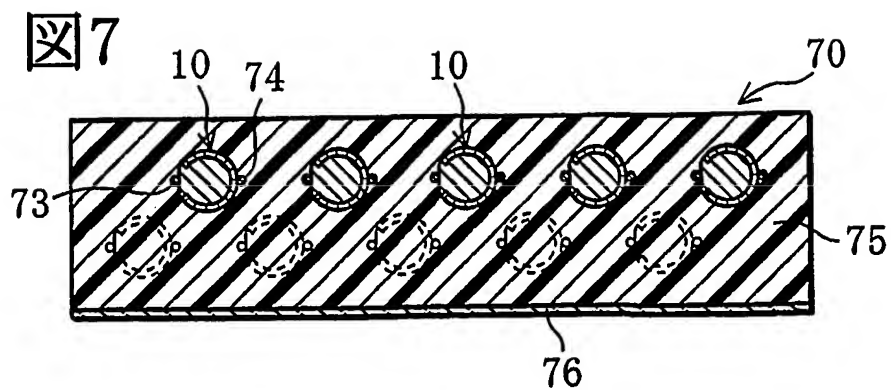
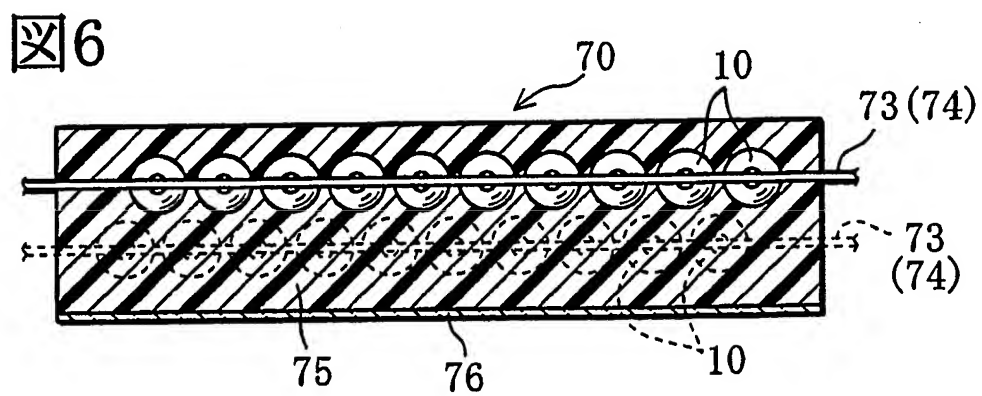
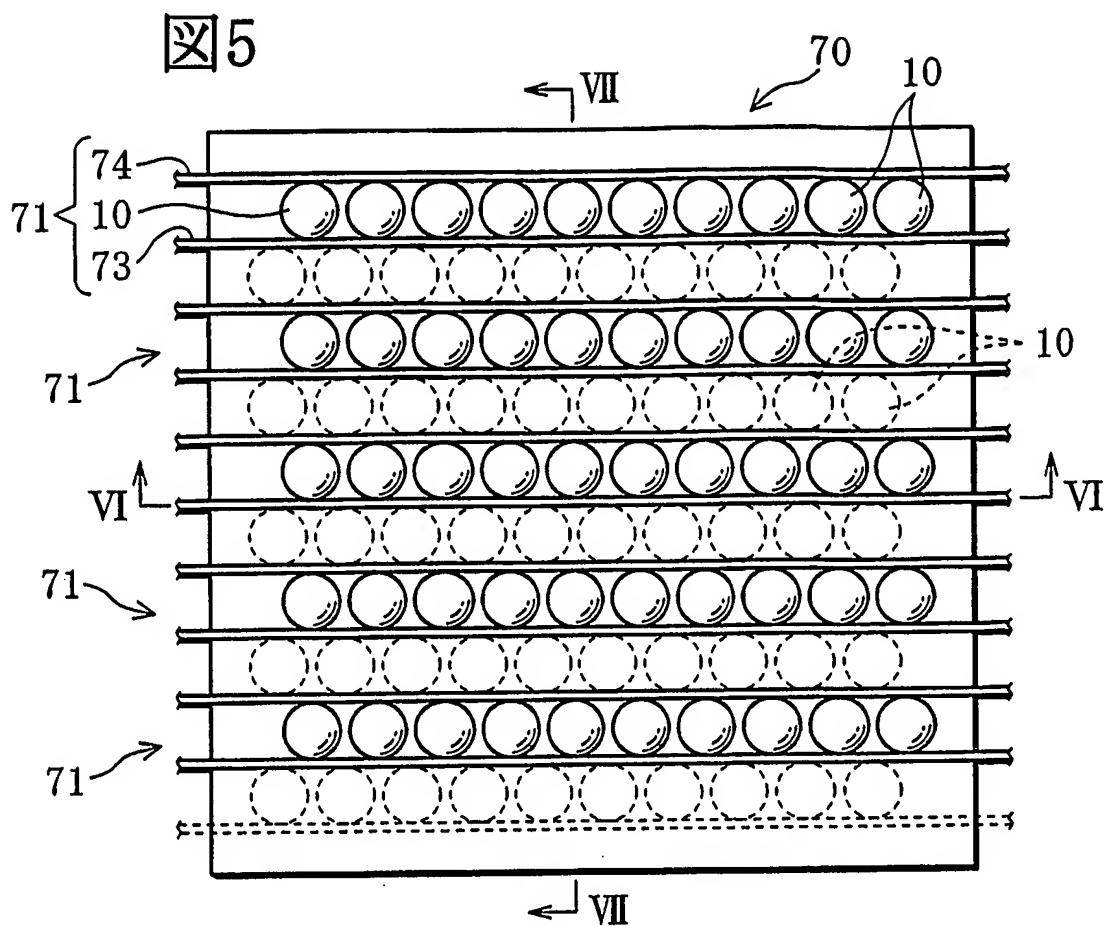


図8

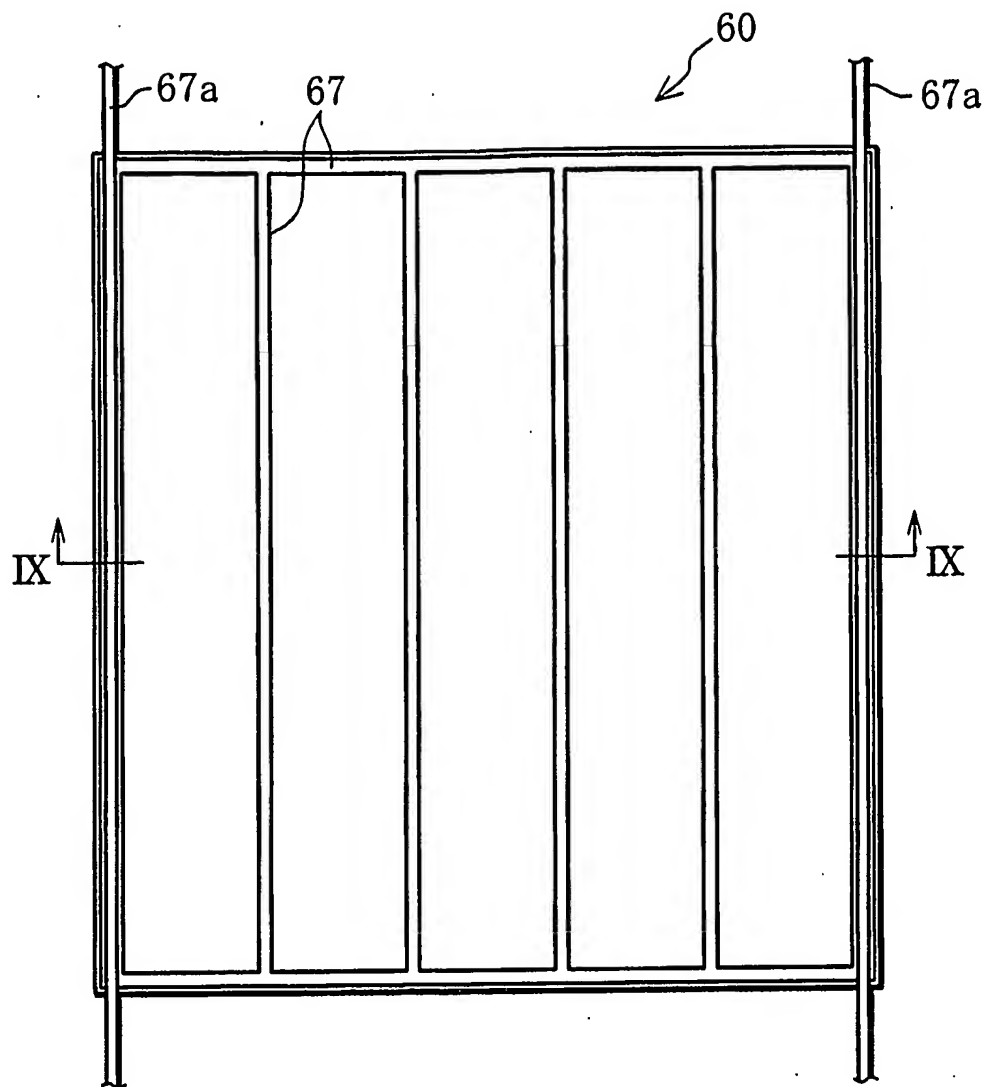


図9

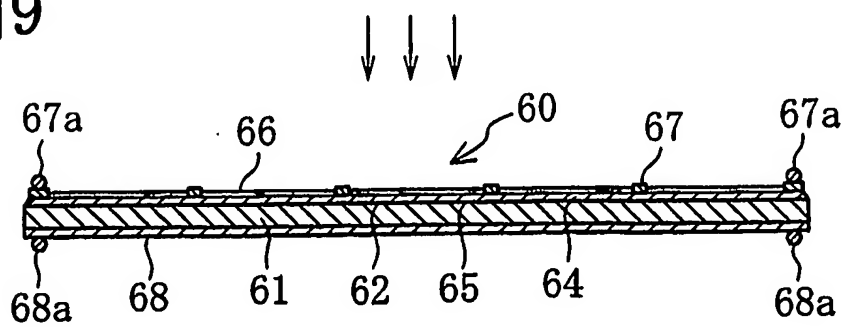


図10

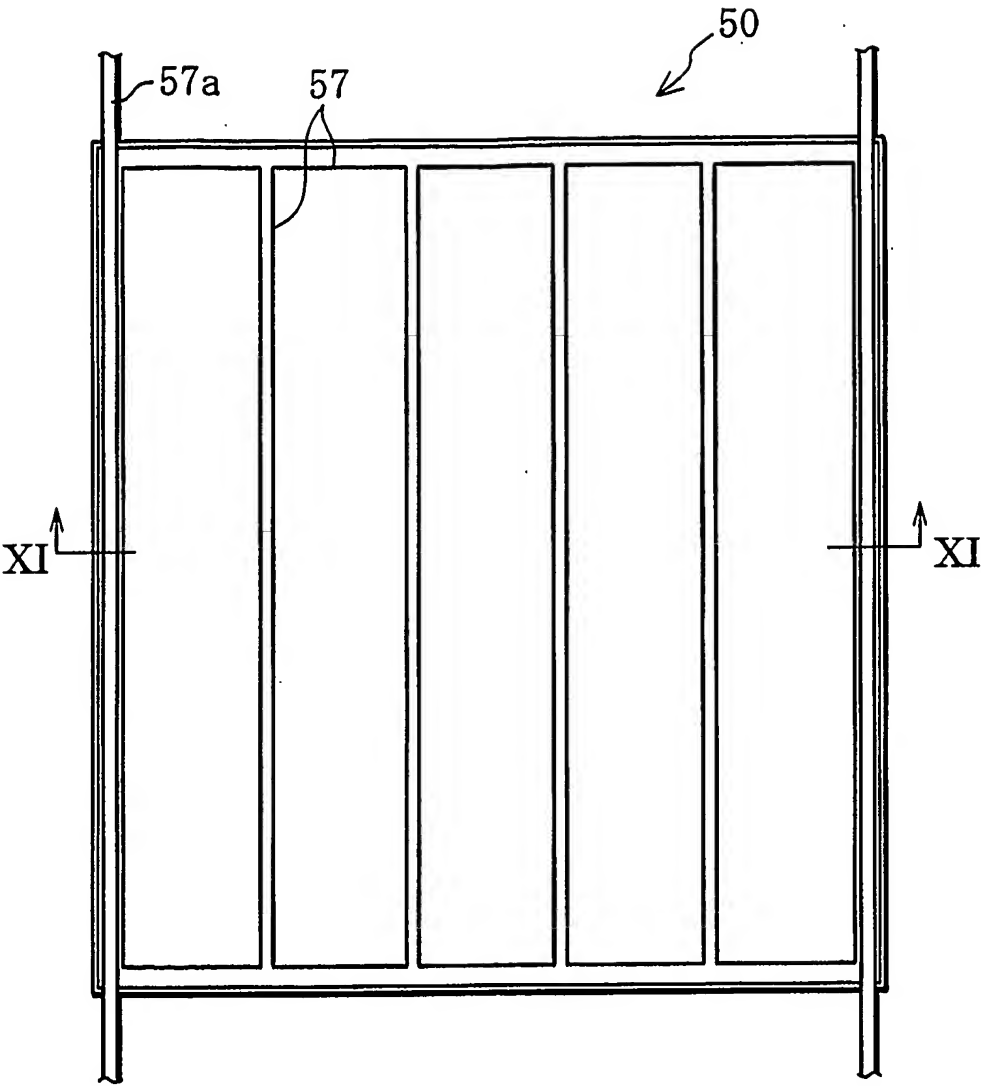


図11

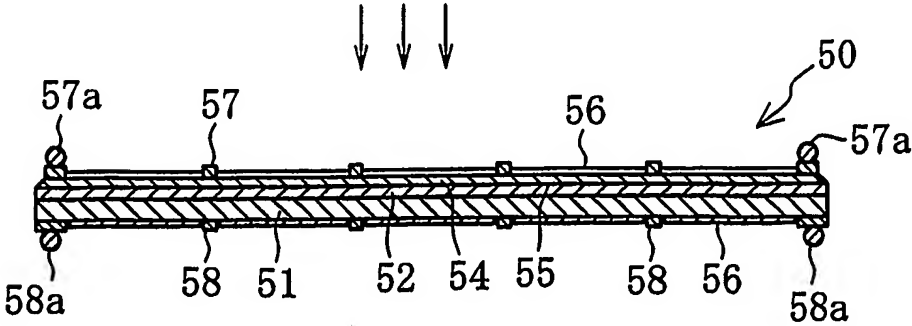


図12

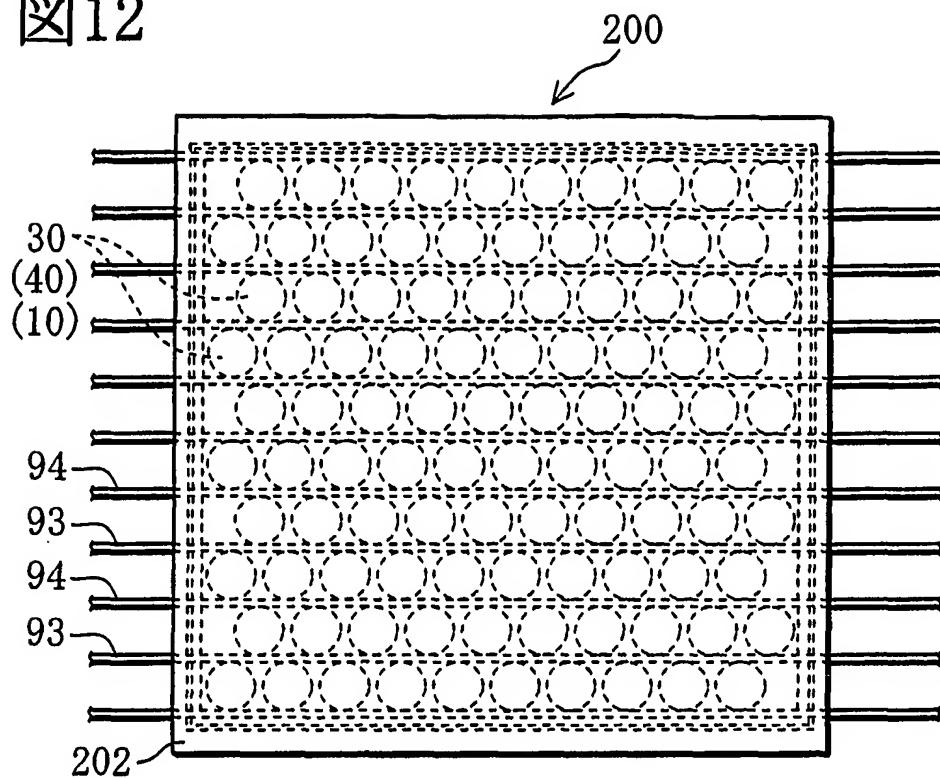


図13

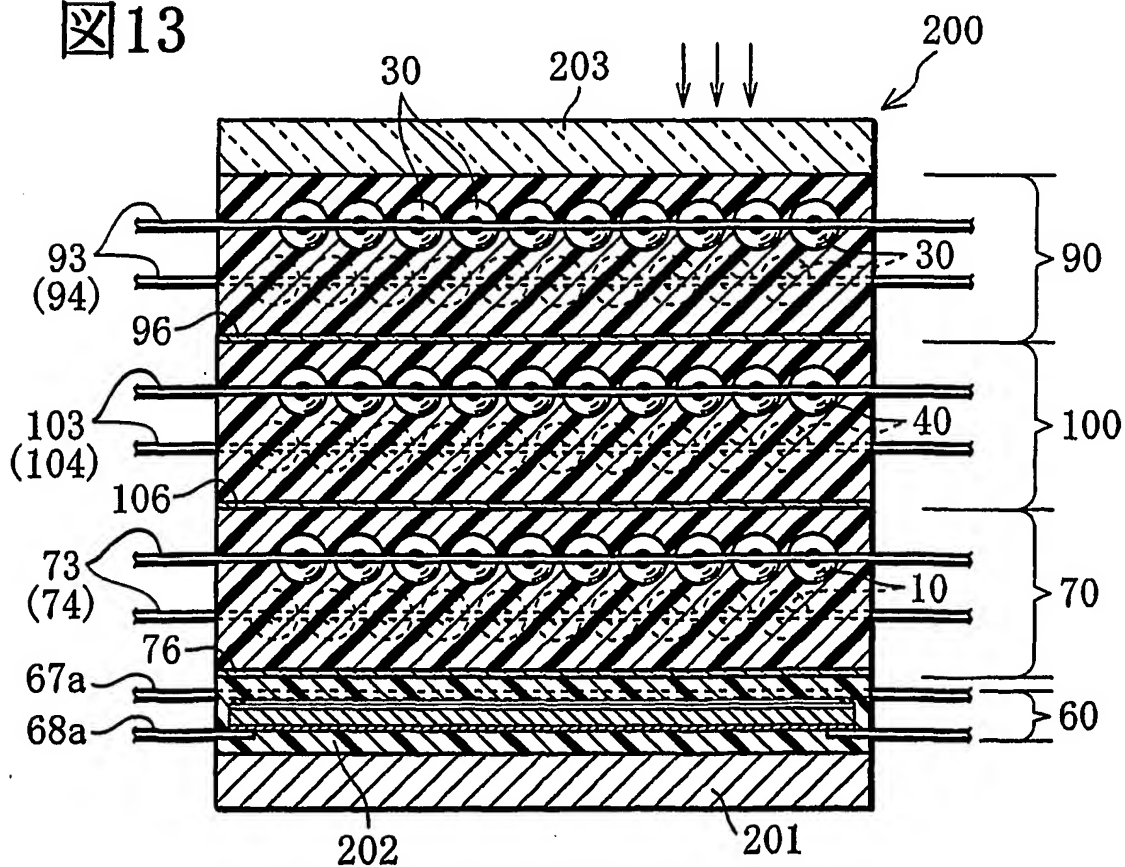


図14

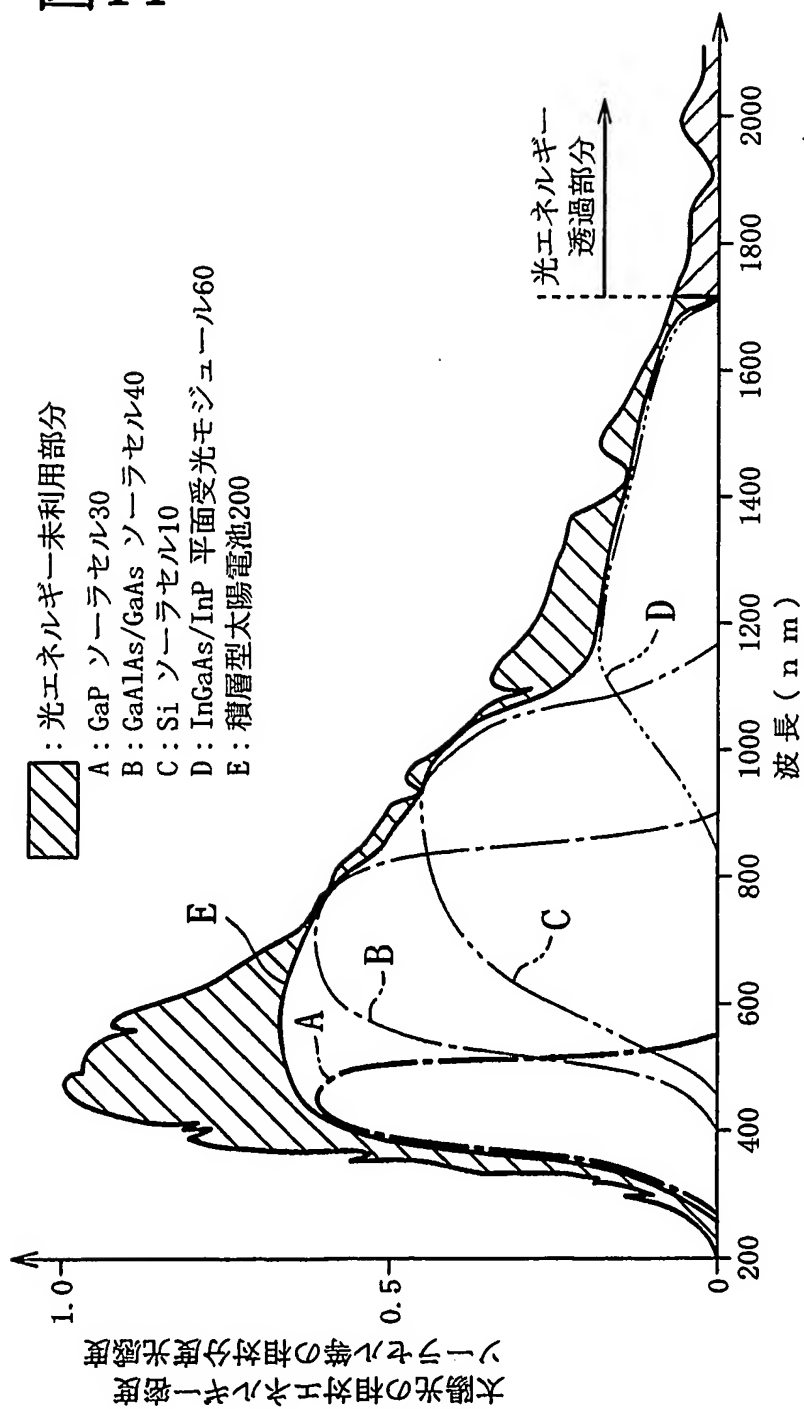


図15

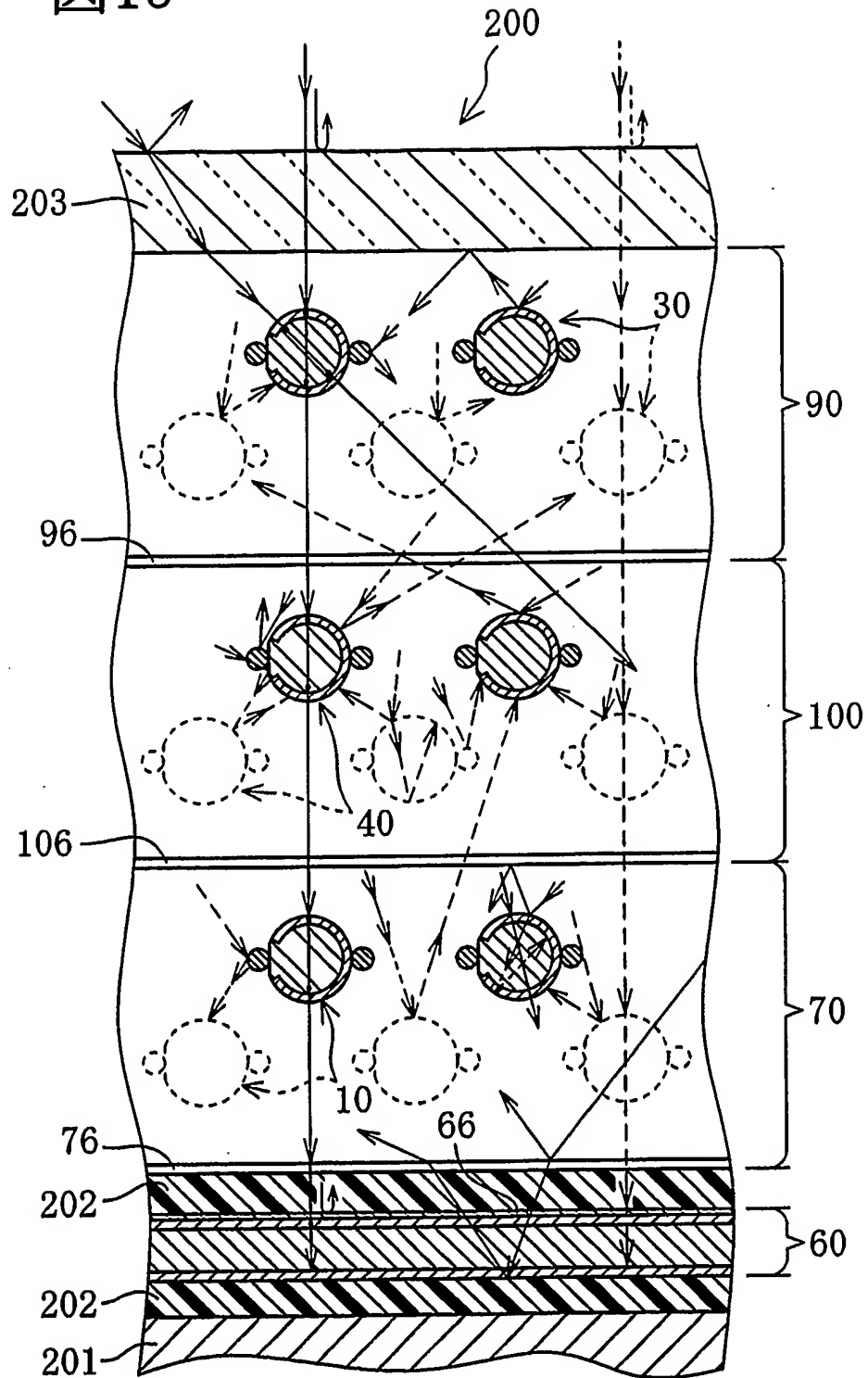
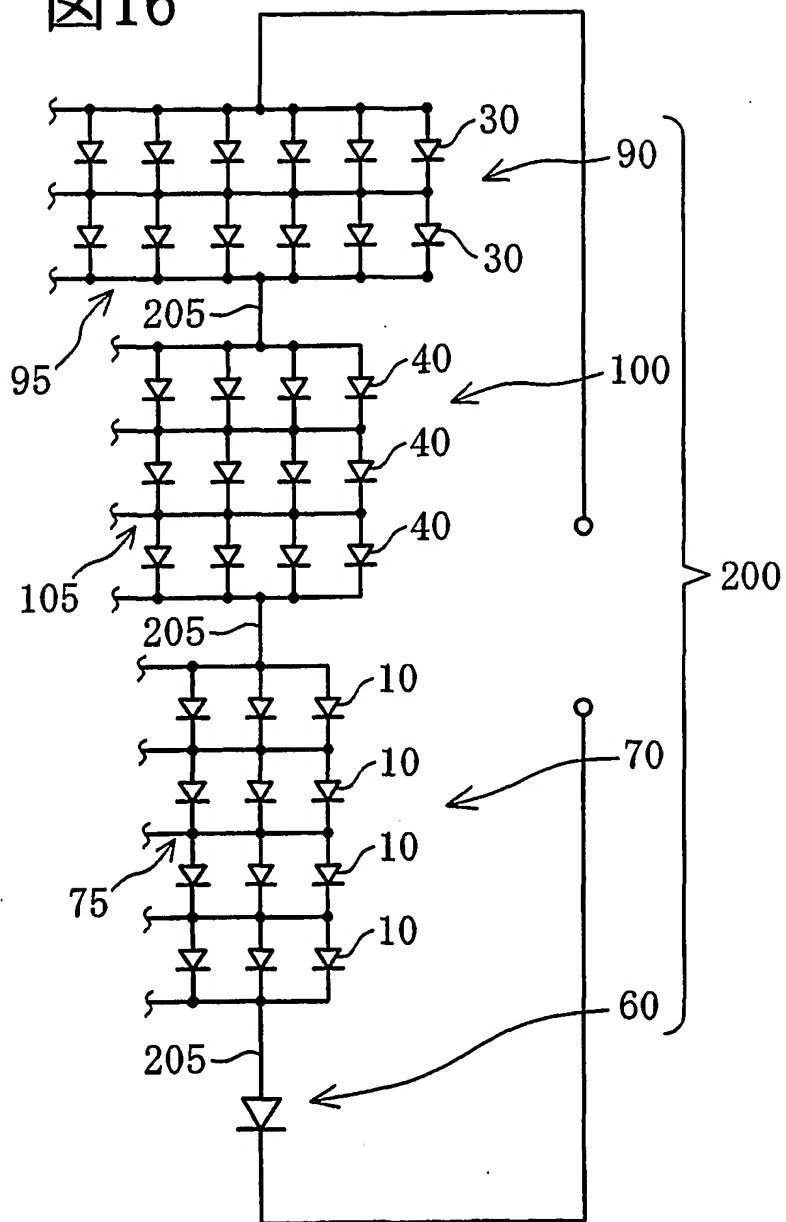


図16



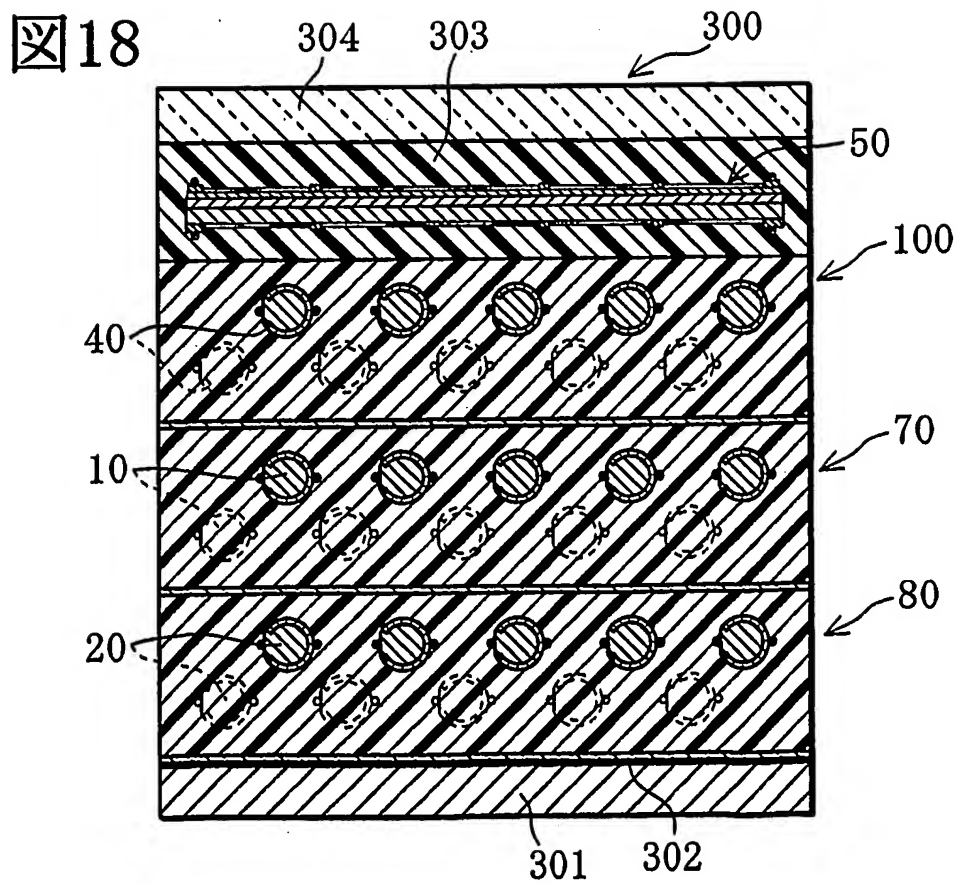
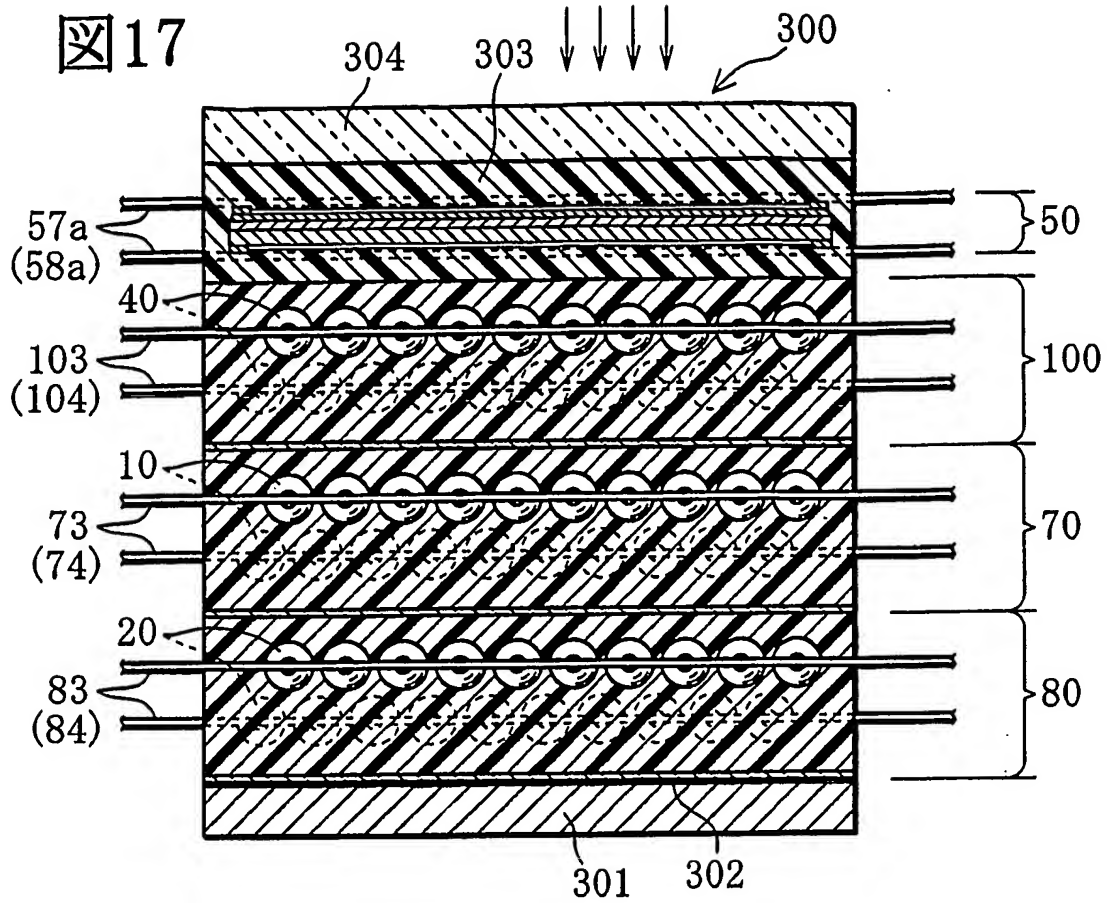


図19

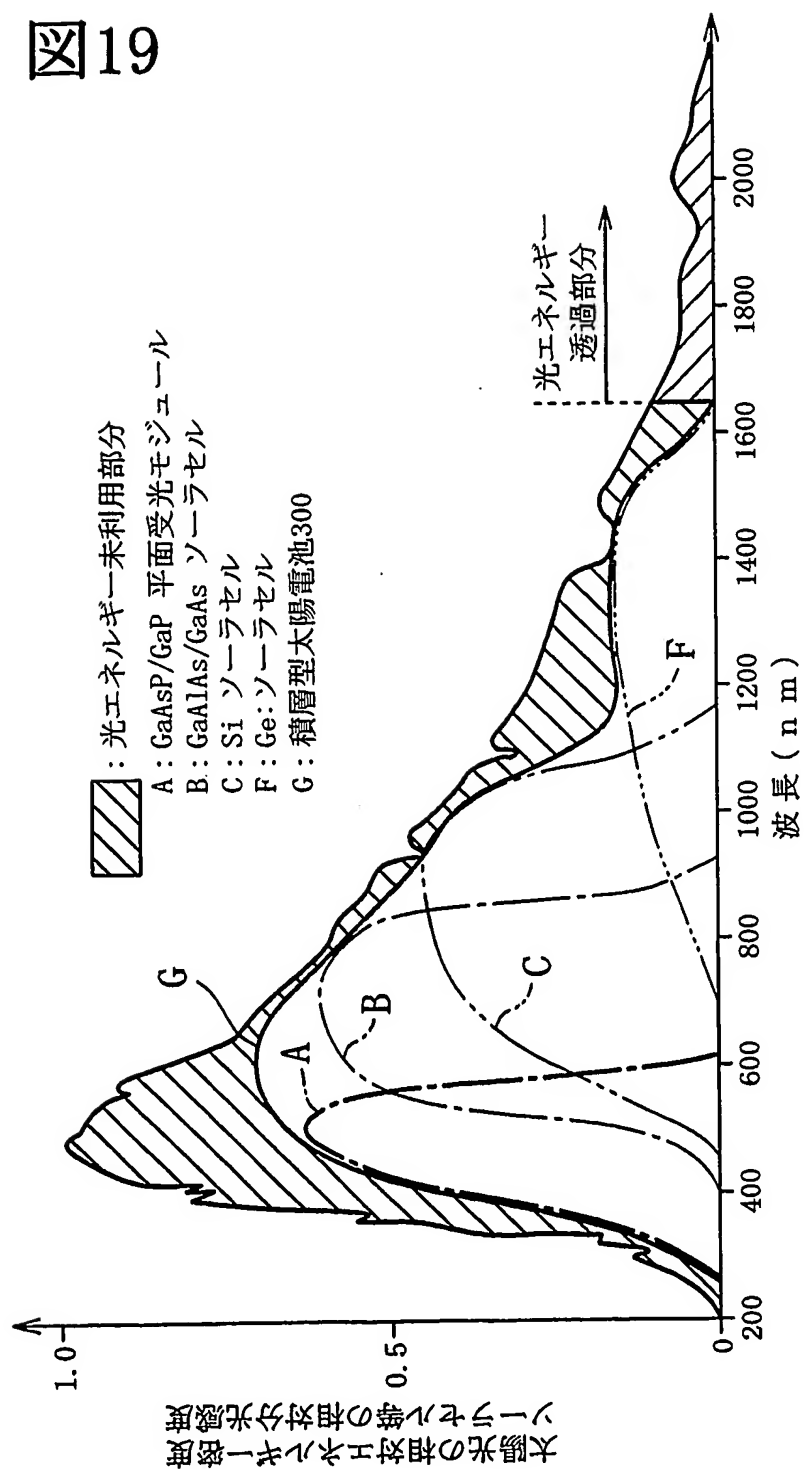


図20

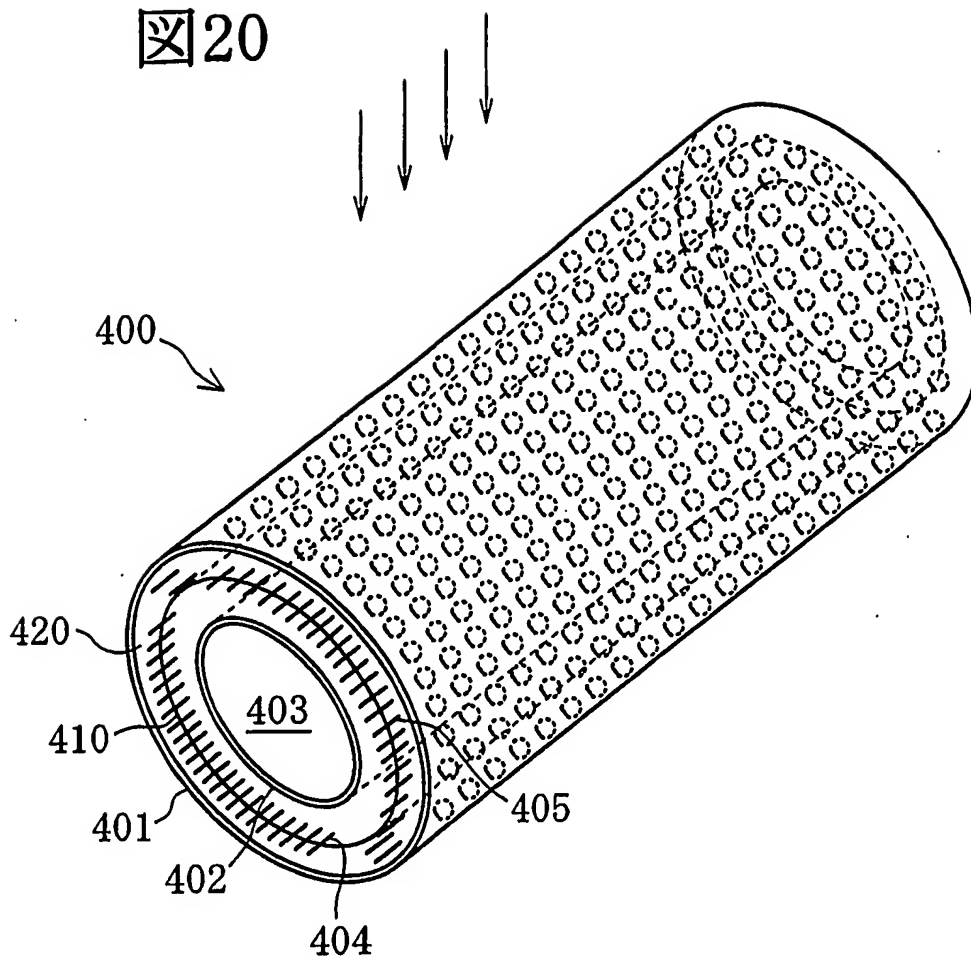
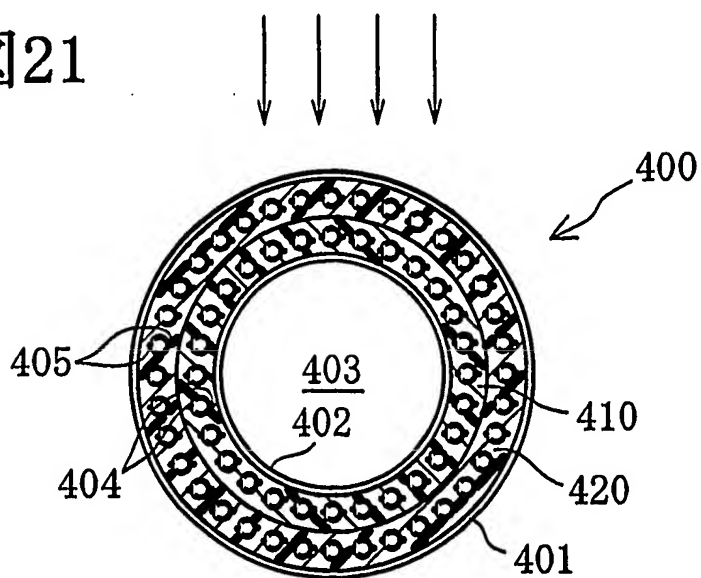


図21



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/003360

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01L31/042

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H01L31/04-31/078Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5720827 A (Simmons), 24 February, 1998 (24.02.98), & WO 98/04006 A	1
A	JP 2-218174 A (Mitsubishi Electric Corp.), 30 August, 1990 (30.08.90), & DE 4004559 A & US 5009719 A	1-17
A	JP 9-260698 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 03 October, 1997 (03.10.97), (Family: none)	1-17
A	WO 2004/001858 A (Josuke NAKATA), 31 December, 2003 (31.12.03), (Family: none)	1-17

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15 April, 2004 (15.04.04)Date of mailing of the international search report
11 May, 2004 (11.05.04)

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer

BEST AVAILABLE COPY

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/003360

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-168369 A (Josuke NAKATA), 22 June, 2001 (22.06.01), (Family: none)	1-17
A	Murayama et al., "Light trapping in spherical silicon solar cell module", Solar Energy Material & Solar Cells, Vol.79, (2003), pages 113 to 124	1-17
A	JP 2001-102618 A (Sony Corp.), 13 April, 2001 (13.04.01), (Family: none)	1-17
A	JP 2002-280592 A (Fuji Machine Mfg. Co., Ltd.), 27 September, 2002 (27.09.02), & EP 1223624 A & US 2002-0109957 A	1-17
A	JP 2001-156315 A (Mitsui High-tec Inc.), 08 June, 2001 (08.06.01), (Family: none)	1-17
A	JP 2002-164554 A (Yoshihiro HAMAKAWA), 07 June, 2002 (07.06.02), & EP 1213772 A & CN 1357927 A & US 2002-0096206 A	1-17
A	A.W.Bett et al., "III-V compound for solar cell applications", Applied Physics A, Vol.69 (1999), pages 119 to 1294	1-17
A	N.S.Alvi et al., "THE POTENTIAL FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS USING MULTIPLE CELL CONCEPTS", Conference Record of 12th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1976, pages 948 to 956	1-17
A	WO 98/15983 A (Josuke NAKATA), 16 April, 1998 (16.04.98), & CA 2239626 A & EP 866506 A & JP 3262174 B	1-17

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁷ H01L31/042

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁷ H01L31/04-31/078

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	US 5720827 A (Simmons) 1998.02.24 & WO 98/04006 A	1
A	JP 2-218174 A (三菱電機株式会社) 1990.08.30 & DE 4004559 A & US 5009719 A	1-17

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15.04.2004

国際調査報告の発送日

11.5.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

浜田 聖司

2K

9207

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 9-260698 A (三洋電機株式会社) 1997. 10. 03 (ファミリーなし)	1-17
A	WO 2004/001858 A (中田仗祐) 2003. 12. 31 (ファミリーなし)	1-17
A	J P 2001-168369 A (中田仗祐) 2001. 06. 22 (ファミリーなし)	1-17
A	Murayama et al., "Light trapping in spherical silicon solar cell module", Solar Energy Material & Solar Cells, Vol.79 (2003) pp.113-124	1-17
A	J P 2001-102618 A (ソニー株式会社) 2001. 04. 13 (ファミリーなし)	1-17
A	J P 2002-280592 A (富士機械製造株式会社) 2002. 09. 27 & EP 1223624 A & US 2002-0109957 A	1-17
A	J P 2001-156315 A (株式会社三井ハイテック) 2001. 06. 08 (ファミリーなし)	1-17
A	J P 2002-164554 A (浜川圭弘) 2002. 06. 07 & EP 1213772 A & CN 1357927 A & US 2002-0096206 A	1-17
A	A.W.Bett et al., "III-V compound for solar cell applications", Applied Physics A, Vol.69 (1999) pp.119-1294	1-17
A	N.S.Alvi et al., "THE POTENTIAL FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS USING MULTIPLE CELL CONCEPTS", Conference Record of the 12th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1976, pp.948-956	1-17
A	WO 98/15983 A (中田仗祐) 1998. 04. 16 & CA 2239626 A & EP 866506 A & J P 3262174 B	1-17